

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа энергетики
Отделение электроэнергетики и электротехники

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы				
Асинхронный тиристорный электропривод насоса для цемента				

УДК 62-83-523:621 65

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г4Б	Рустемов Темирлан Рашитович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Чернышев А.Ю.	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Калмыкова Е.Ю.	К.Т.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Панин В.Ф.	Д.Т.Н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
	Дементьев Ю.Н.	Ph.D., К.Т.Н.		

Томск – 2018 г.

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа энергетики
Отделение электроэнергетики и электротехники

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

Дементьев

Ю.Н.

(Подпись)

(Ф.И.О.)

(Дата)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
5Г4Б	Рустемову Темирлану Рашитовичу

Тема работы:

Асинхронный тиристорный электропривод насоса для цемента

Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 873/с от 13.02.2018
---	-----------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2018
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Объектом исследования является регулируемый электропривод насоса для цемента на основе асинхронного двигателя. В качестве исходных данных представлены: Напряжение питающей сети $U_{пит} = 380$ В; Частота питающей сети, Гц - 50 Скорость двигателя, об/мин - 1000 Мощность двигателя, кВт - 115 Коэффициент мощности - 0,82
---------------------------------	---

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Исследование электропривода насоса на основе асинхронного двигателя; Расчет и выбор силового оборудования; Построение механических и электромеханических характеристик; Моделирование переходных процессов.
Перечень графического материала	Презентация
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Социальная ответственность	Профессор кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности Панин В.Ф.
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Старший преподаватель кафедры менеджмента Калмыкова Е.Ю.

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	06.02.2018
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Чернышев А.Ю.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г4Б	Рустемов Темирлан Рашитович		

РЕФЕРАТ

Курсовой проект содержит 88 страниц, 31 рисунок, 17 источников, 17 таблиц.

Объектом проектирования является электропривод переменного тока с фазовым регулированием скорости.

Цель работы: рассчитать параметры электродвигателя, смоделировать систему ТРН-АД, исследовать потери двигателя при различных задающих воздействиях.

Курсовой проект выполнен в текстовом редакторе Microsoft Word 2013 на белой бумаге формата А4 с использованием программ MathCAD 2015, пакет MATLAB 2014, Microsoft Visio 2013.

Содержание

1. Введение.....	7
2. Описание технологического процесса	9
2.1 Цемент	9
2.2 Пневмовинтовые насосы для цементных смесей	10
2.3 Виды износа, возникающие при транспортировке сыпучих материалов	13
2.4 Технические требования, предъявляемые к пневмовинтовым насосам	14
3. Основные разделы.....	16
3.1 Принципы построения систем «тиристорный регулятор напряжения – асинхронный двигатель»	16
3.2 Обоснование выбора функциональной схемы электропривода с.....	17
фазовым регулированием скорости	17
3.3 Расчет параметров схемы замещения асинхронного двигателя	18
3.4 Расчет механических и электромеханических характеристик асинхронного двигателя	22
3.5 Структурная схема асинхронного двигателя	29
3.6 Расчет переходных процессов пуска асинхронного двигателя прямым включением в сеть и при изменении нагрузки. Анализ полученных результатов.....	31
3.7 Обоснование и выбор функциональной схемы электропривода переменного тока с фазовым регулированием скорости. Назначение и область применения.	35
3.7.1 Обоснование и выбор регулятора напряжения.....	35
3.7.2 Расчет электромеханических и механических характеристик разомкнутой системы «регулятор напряжения – асинхронный двигатель» для различных задающих напряжений	36
3.7.3 Анализ полученных результатов	37
3.8 Потери в асинхронном двигателе при работе на искусственных характеристиках	37
3.9 Расчет переходных процессов скорости и момента для режима пуска, сброса, наброса нагрузки на валу двигателя для режимов прямого пуска и пуска от датчиков интенсивности с различными законами изменения напряжения управления и вентиляторной нагрузкой на валу.....	40
3.10 Определить потери мощности в двигателе при его пуске. Определить оптимальное время пуска асинхронного двигателя исходя из минимума потерь при пуске. Произвести анализ полученных результатов теоретических расчетов.....	44

3.11 Синтез параметров регулятора скорости в замкнутой системе «Тиристорный регулятор напряжения-асинхронный двигатель» для различных задающих напряжений	45
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережени....	52
5. Социальная ответственность	68
Заключение	83
Список литературы	84

1. Введение

Асинхронные электропривода на сегодняшний день получили большое распространение благодаря своим неплохим показателям по надежности и цене. Прямой пуск мощных асинхронных двигателей может привести к просадке напряжения, что негативно повлияет на электромагнитный момент двигателя. Для обеспечения плавного пуска и снижения динамических нагрузок на кинематику электропривода могут использоваться тиристорные регуляторы напряжения. Достоинства данных силовых преобразователей заключается в том, что по сравнению с преобразователями частоты они имеют меньший уровень электромагнитных помех, а также меньшую стоимость.

Для управления пуском двигателя распространение получили тиристорные регуляторы напряжения благодаря своим следующим преимуществам: они дешевле, чем частотные преобразователи, обладают большей надежностью, создают меньше электромагнитных помех.

При помощи тиристорных коммутаторов может осуществляться как прямой пуск (аналогичный пуску от пускателя), так и управляемый плавный пуск с заданной динамической характеристикой, либо только с ограничением тока и момента. Преимущества плавного пуска:

- Снижение пусковых токов, что положительно скажется на сроке службы изоляции двигателя. Так как при протекании больших токов изоляция начинает нагреваться и разрушаться, что может приводить к межвитковым замыканиям, что в дальнейшем приведет к выходу из строя двигателя.

- Позволяет снизить механические нагрузки на кинематику электропривода. Во время пуска двигателя момент имеет колебательный характер, намного превышающий рассчитанный по статическим характеристикам. Максимальный ударный момент может достигать недопустимо больших значений по условиям механической прочности

механизмов, что влияет на надежность и долговечность работы электропривода. (будет происходить повышенный износ узлов и деталей).

-Также для ограничения ударных моментов при сохранении малого времени разгона возможно при непрерывном изменении угла, а в течение всего процесса пуска с тем, чтобы приложенное к двигателю напряжение увеличивалось от нуля до номинального.

-Отсутствуют просадки напряжения в сети, что особенно важно для автономных объектов. Например, при прямом пуске АД, мощность которого равна 0.2 от мощности питающего генератора, произойдет падение напряжения в сети. Это падение напряжения повлияет на момент двигателя (он зависит от квадрата напряжения, следовательно, перегрузочная способность двигателя уменьшится, и он может не запуститься). Также это повлияет на других потребителей (другие двигатели могут остановиться из-за уменьшения момента).

Целью данной работы является расчёт статических характеристик асинхронного двигателя при изменении питающего напряжения, получение динамических характеристик соответствующих техническому заданию, моделирование системы ТРН-АД в MATLAB SIMULINK, исследование потерь при пуске от ТРН и прямом пуске.

2. Описание технологического процесса

2.1 Цемент

Цементом называется неорганическое вещество искусственного происхождения, которое требуется для соединения различных материалов в строительстве.

В состав цемента входят различные минеральные породы: карбонатные - известняк, мел, мергель, глинистые породы – глина, глинистый сланце, лесс (порода из глины, кварца, полевого шпата), суглинок и различные минеральные добавки.

Основные свойства цемента:

1.Прочность – величина, показывающая устойчивость материала к механическим воздействиям. Прочность цемента зависит от добавок, входящих в его состав (гипс, шлак).

2.Морозостойкость. Это основное свойство цемента, отражающее способность материала к многократному замораживанию и оттаиванию. Достигается оно за счет введения модифицирующих добавок.

3.Коррозионная стойкость.

4.Сульфатостойкость - характеристика, которая отражает устойчивость стройматериала к воздействию водной среды, содержащей сульфат-ионы. Данным свойством обладают сульфатостойкие цементы. Их применяют в возведении гидросооружений, расположенных в соленой воде.

5.Водонепроницаемость. Этим свойством обладает водонепроницаемый цемент. Процесс его схватывания составляет 10 минут. Данный материал используется при заделке стыков и швов железобетонных конструкций, расположенных в воде.

6.Тонкость помола. Данная характеристика оказывает влияние на скорость затвердевания, а, значит, и на прочность бетона. Чем тоньше помол клинкера, тем выше прочность цемента после затвердевания.

Цемент используют для приготовления штукатурных и кладочных растворов, монолитного и сборного бетона, асбоцементных изделий, железобетона и тд. Важной особенностью цемента, отличающей его от воздушной извести и гипса, является то, что он способен затвердевать во влажной среде [1].

Цементы доставляют с завода-изготовителя к месту потребления железнодорожным и автомобильным транспортом, либо с помощью трубопровода. Пневматическая транспортировка цемента при помощи трубопроводов осуществляется на расстояние до 1 км с цементных заводов непосредственно до сборного склада.

2.2 Пневмовинтовые насосы для цементных смесей

Основным назначением пневмовинтовых насосов является перекачка мелкодисперсных материалов, например, цемента. Материал перемещается по продуктопроводам при проведении различных погрузочно-разгрузочных работ с помощью автоцементовозов, или при работе с железнодорожными вагонами хопперами, а также для перекачки цемента по территории заводов или между складами цемента.

Существуют несколько способов транспортирования материалов: вертикальный, горизонтальный, наклонный. Транспортировка с помощью этих насосов может осуществляться на расстояния до 400 м.

Конструкция выпускаемых в настоящее время в России пневмовинтовых насосов обеспечивает дальность транспортирования от 230 до 430 м, в том числе 30 м по вертикали. Увеличение дальности транспортировки, особенно высоты подачи, можно осуществить за счет различных конструктивных решений, которые учитывают физико-механические свойства транспортируемых материалов [2].

Внутри складских помещений данные насосы используются для перемещения цементных смесей из хранилищ (силосов) в расходные бункера бетоносмесительных установок. Такие установки находятся на заводах

железобетонных изделий или бетонных заводов, которые производят, например, плиты, с помощью которых идет строительство зданий.

В зависимости от шага резьбы у шнека, а также в зависимости от конструкции электропривода насоса можно классифицировать их на низконапорные, которые транспортируют цемент на небольшие расстояния, или на высоконапорные.

Наиболее важным преимуществом данных насосов для транспортировки цемента является их небольшие габариты, что позволит произвести установку данных насосов на различных автоцементовозах, под железнодорожным полотном без проведения различных модернизационных работ. Другим важным преимуществом является непрерывность их работы, которая осуществляется при помощи того, что подача цемента осуществляется в приемный бункер, затем через шнек подается в смесительную камеру. Этот процесс происходит непрерывно, следовательно, нет необходимости отсекать циклы наполнения и выдавливания.

Серьезным недостатком данных насосов является то, что все-таки для работы требуется не только воздух под давлением, но и для электропривода требуется подача электричества. Двигатели, работающие в таких системах, могут потреблять от 10 до 110 кВт. Другим недостатком является повышенный износ шнека. Также данный тип питателей не является самовсасывающим, т. е. требуется постоянная подача цемента в приемный бункер с некоторым давлением. На рисунке 3 показан внешний вид пневмонасоса.

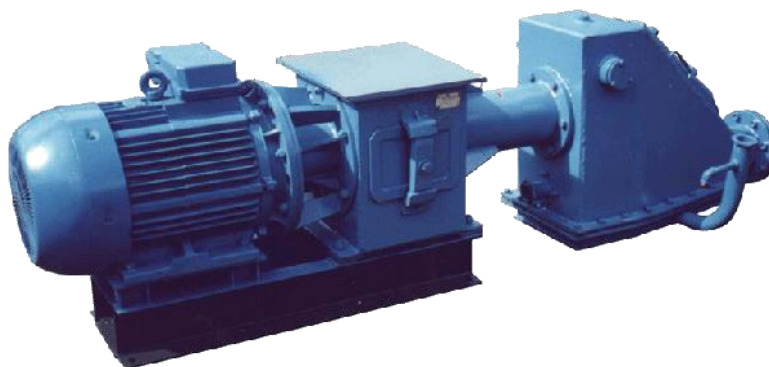


Рисунок 1 – Внешний вид пневмонасоса для цемента

Технические характеристики пневмовинтовых насосов показаны в таблице 1.

Таблица 1. Технические характеристики пневмовинтовых насосов

	ТП-1	ТФ-1	ТА-14Б	ТЦ-1
Производительность, тонн/час	7	15	36	63
Дальность подачи, м	230	230	230	230
Высота подачи, м	30...50	30	30	30
Расход воздуха, м ³ /мин	5	9	14,5	22
Мощность эл. привода шнека, кВт	15	15	30	37
Давление сжатого воздуха, МПа	0,3	0,2	0,2	0,2
Габаритные размеры, мм	1925x484x675	2200x820x850	2490x950x800	2585x722x545
Масса, кг	510	560	800	965

Насос состоит из следующих основных сборочных единиц (рисунок 4): рамы, на которой смонтированы все элементы насоса, приемной камеры с корпусом гильзы и самой броневой гильзой внутри него, напорного быстроходного шнека с приводом от электродвигателя, смесительной камеры с обратным клапаном и коллектором для подвода сжатого воздуха, разъемного цилиндра с броневыми втулками.

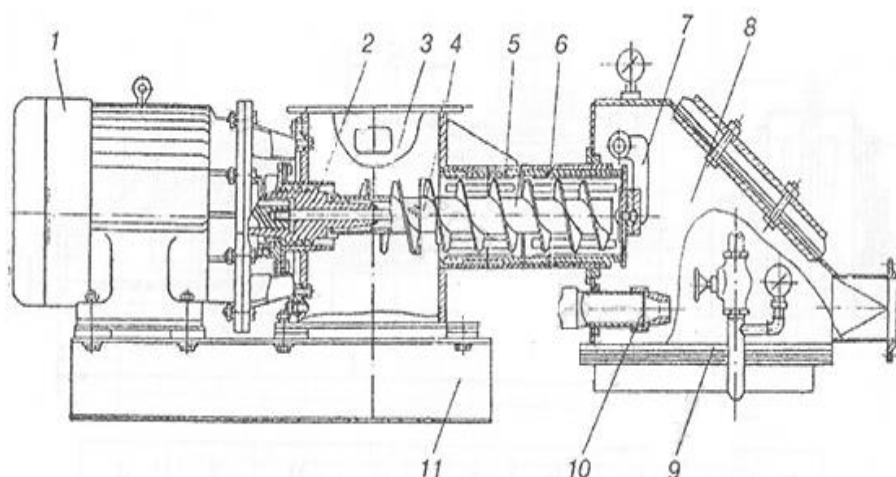


Рисунок 2 – Пневмовинтовой насос ТА-14Б: 1 — электродвигатель; 2 — уплотнение; 3 — корпус; 4 — шнек; 5,6 — гильза; 7 — обратный клапан; 8 — смесительная камера; 9 — аэроднище; 10 — сопло; 11 — рама

2.3 Виды износа, возникающие при транспортировке сыпучих материалов

Работа данного типа насосов при транспортировке материалов сопровождается следующими видами износа:

-Газоабразивный износ. Газоабразивный износ вызывается механическим действием твердых частиц, перемещаемых потоком воздуха. Разрушение поверхности происходит в результате срезания, выкрашивания, выбивания и многократного пластического деформирования поверхностных микрообъемов [3].

-Абразивный износ. Абразивный износ возникает при попадании между трущимися поверхностями твердых абразивных частиц из окружающей среды или вместе с переносимым материалом: песка, стружки, окислов различных материалов.

Абразивное изнашивание происходит из-за микропластических деформаций и срезания металла твердыми абразивными частицами, находящимися между поверхностями трения. Абразивные частицы, попавшие из окружающей среды или образовавшиеся при других видах изнашивания, часто по своей твердости превышают твердость трущихся

поверхностей и. действуют как режущий инструмент. Поэтому по своей природе и по механизму протекания абразивное изнашивание очень похоже на явления резания металлов.

Этот вид износа характерен высокой скоростью изнашивания сопряженных поверхностей, наличием на них рисок и неровностей [4]. Износу подвержены рабочие поверхности шнека, детали уплотнения, тарелка обратного клапана.

-Ударно-абразивный. Ударно-абразивный износ происходит при ударе по твердым частицам, способным поражать поверхность контактирования путем образования на ней лунок - следов прямого динамического внедрения этих частиц. Качественным признаком ударно-абразивного износа является специфическая поверхность, представляющая собой сочетание лунок, разделенных перемычками [5]. Износу подвержена верхняя часть витков шнека, броневые гильзы.

Данному виду износа подвержены шнек в зоне последних напорных витков, броневые гильзы, детали уплотнения обратного клапана, материалопровод, смесительная камера.

2.4 Технические требования, предъявляемые к пневмовинтовым насосам

1.Смесительная камера насосов должна быть герметичной для того, чтобы воздух снаружи не попадал в камеру, либо чтобы смесь не попадала за ее пределы. Перед тем как подать воздух под давлением в смесительную камеру он высушивается. Это связано с тем, что если будет присутствовать вода в нем, то цементная смесь начнет затвердевать при контакте с ней.

2.Концевая часть шнека должна быть съемной, для того чтобы была возможность его замены. Так как в этих насосах срок службы шнека не превышает 1000 часов из-за различных видов износа. Восстановление шнека происходит наплавкой износостойким материалом.

Бронева гильза служит в 2 раза дольше. Метод ее восстановления аналогичен восстановлению шнека.

3. Электропривод шнека должен обеспечивать его плавный разгон до номинальной частоты вращения для исключения усиленного износа гильзы и шнека.

4. В смесительную камеру должно поступать определенное количество воздуха, зависящее от частоты вращения шнека.

5. Уплотнительные устройства вала шнека должны обеспечивать полную герметизацию для исключения вытекания цемента и уменьшения абразивного износа.

3. Основные разделы

3.1 Принципы построения систем «тиристорный регулятор напряжения – асинхронный двигатель»

Асинхронные электропривода на сегодняшний день получили большое распространение благодаря своим неплохим показателям по надежности и цене. Прямой пуск мощных асинхронных двигателей может привести к просадке напряжения, что негативно повлияет на электромагнитный момент двигателя.

Одна из эффективных возможностей для повышения надежности и экономичности работы электроприводов с асинхронными двигателями связана с применением устройств плавного пуска [6].

Тиристорные пусковые устройства представляют собой регулятор напряжения с фазовым управлением. Регуляторы изменяют только напряжение, частота при этом остается неизменной.

Тиристорные регуляторы напряжения предназначены для:

- Снижения пусковых токов, что положительно скажется на сроке службы изоляции двигателя. Так как при протекании больших токов изоляция начинает нагреваться и разрушаться, что может приводить к межвитковым замыканиям, что в дальнейшем приведет к выходу из строя двигателя.

- Уменьшения механических нагрузок на кинематику электропривода. Во время пуска двигателя момент имеет колебательный характер, намного превышающий рассчитанный по статическим характеристикам. Максимальный ударный момент может достигать недопустимо больших значений по условиям механической прочности механизмов, что влияет на надежность и долговечность работы электропривода.

Наиболее совершенные устройства обладают следующими защитами:

- от обрыва фазы;
- от неправильного чередования фаз;

- от токов перегрузки;
- от несимметрии фаз;
- тепловая защита двигателя.

3.2 Обоснование выбора функциональной схемы электропривода с фазовым регулированием скорости

Задание скорости открытия тиристоров позволяет исключить ударные моменты и осуществить плавный пуск двигателя. Применяемое фазовое управление, означает изменение угла открытия тиристоров α по отношению к синусоиде питающего напряжения (угол α , отсчитывается от момента прохождения через нуль фазового напряжения сети).

Таким образом, фазовое управление, представляет собой разновидность параметрического, в данном случае амплитудного, управления, позволяющего изменять величину приложенного к двигателю переменного напряжения, которое является одним из параметров, определяющих вид механических характеристик асинхронных двигателей [7].

Функциональная схема системы ТРН-АД представлена на рисунке 8.

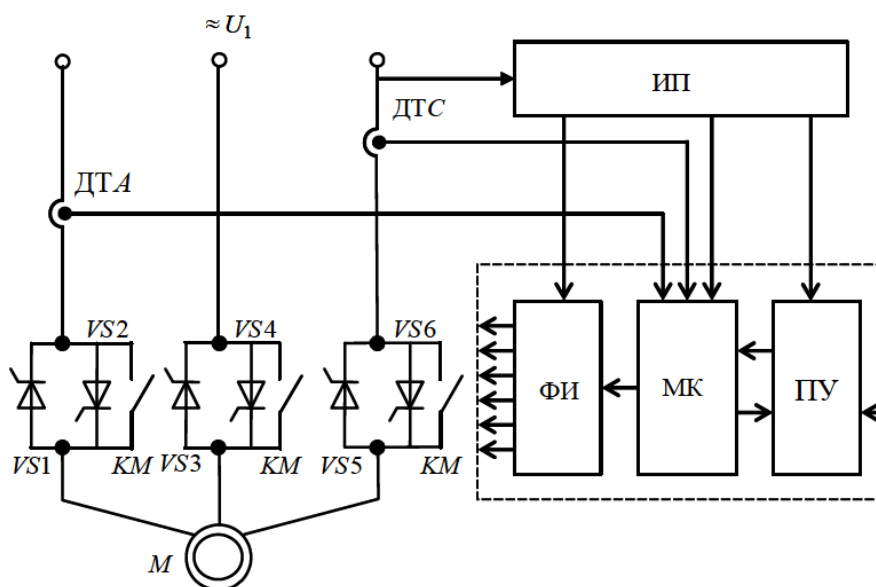


Рисунок 3 – Функциональная схема ТРН-АД

Тиристорное пусковое устройство содержит шесть тириستоров VS1 - VS6 для плавного запуска трехфазного двигателя с короткозамкнутым ротором. Управление тиристорами осуществляется от формирователя импульсов ФИ, который выдает потенциально не связанные запускаящие импульсы положительной полярности на управляющие электроды тиристоров. Управление тиристорным пусковым устройством осуществляется от микроконтроллера МК. По окончании процесса пуска тиристоры шунтируются замыкающими контактами механического контактора КМ. Ввод информации в микроконтроллер производится с панели управления ПУ, расположенного на передней крышке корпуса пускового устройства. Источника питания ИП обеспечивает микроконтроллер и формирователь импульсов постоянными стабилизированными напряжениями.

Так как пневмовинтовой насос не нужен реверс, то схема с 5 группами тиристоров в данном случае не требуется, будет достаточно 3 групп тиристоров.

3.3 Расчет параметров схемы замещения асинхронного двигателя

В таблице 2 приведены параметры асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором RA160L6.

Таблица 2 – Технические характеристики электродвигателя RA160L6.

Тип	n_0 , об/мин	$U_{1н}$, В	$P_{дв.н}$, кВт	При номинальной нагрузке			$J_{дв}$, кг·м ²
				s_n , %	$\cos \varphi_n$	η_n , %	
RA160L 6	1000	380	11	3	0,82	88,5	0,111
$m_{п} = \frac{M_{пуск}}{M_n}$	$m_k = \frac{M_{макс}}{M_n}$		$m_m = \frac{M_{мин}}{M_n}$		$k_{i_{дв}} = \frac{I_{пуск}}{I_n}$		
2,2	2,9		0,9		6,5		

Параметры схемы замещения определим по методике, изложенной в [8].

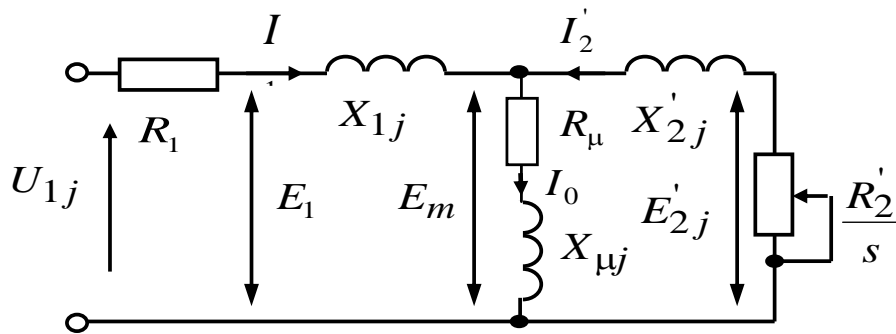


Рисунок 4 – Схема замещения

Ток холостого хода асинхронного двигателя:

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{11}^2 - \left(p^* \cdot I_{1n} \cdot \frac{1-s_n}{1-p^* \cdot s_n} \right)^2}{1 - \left(p^* \cdot \frac{1-s_n}{1-p^* \cdot s_n} \right)^2}} =$$

$$= \sqrt{\frac{18,418^2 - \left(0,75 \cdot 22,966 \cdot \frac{1-0,03}{1-0,75 \cdot 0,03} \right)^2}{1 - \left(0,75 \cdot \frac{1-0,03}{1-0,75 \cdot 0,03} \right)^2}} = 10,272 \text{ A},$$

Где -

$$I_{1n} = \frac{P_n \cdot 1000}{3 \cdot U_{1n} \cdot \cos \varphi_n \cdot \eta_n} = \frac{11000}{3 \cdot 220 \cdot 0,885 \cdot 0,82} = 22,966 \text{ A} \quad - \text{номинальный ток}$$

статора;

$$I_{11} = \frac{p_z \cdot P_n}{3 \cdot U_{1n} \cdot \cos \varphi_z \cdot \eta_z} = \frac{11000 \cdot 0,75}{3 \cdot 220 \cdot 0,76 \cdot 0,893} = 18,418 \text{ A} \quad - \text{ток фазы статора}$$

при частичной загрузке;

p^* – коэффициент загрузки двигателя, принимаем $p^*=0,75$;

η_{p^*} – КПД при частичной загрузке, принимаем $\eta_{p^*}=0,893$.

Коэффициент мощности при частичной загрузке, принимаем согласно:

$$\cos \varphi_z = 0,76.$$

Коэффициент, характеризующий отношение $\frac{X_{\mu} + X_{1\sigma}}{X_{\mu}}$;

$$c_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_i \cdot I_{1H}} = 1 + \frac{10,272}{2 \cdot 6,5 \cdot 22,966} = 1,034$$

Критическое скольжение:

$$s_{\kappa} = s_H \cdot \frac{m_{\kappa} + \sqrt{m_{\kappa}^2 - (1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (m_{\kappa} - 1))}}{1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (m_{\kappa} - 1)} =$$

$$= 0,03 \cdot \frac{2,9 + \sqrt{2,9^2 - (1 - 2 \cdot 0,03 \cdot 1 \cdot (2,9 - 1))}}{1 - 2 \cdot 0,03 \cdot 1 \cdot (2,9 - 1)} = 0,191.$$

где β – коэффициент, значение которого находится в диапазоне 0,6–2,5, принимаем $\beta = 1$.

Определим коэффициент:

$$A_1 = m \cdot U_{1H}^2 \cdot \frac{1 - s_H}{2 \cdot C_1 \cdot m_{\kappa} \cdot P_H} = 3 \cdot 220^2 \cdot \frac{1 - 0,03}{2 \cdot 1,034 \cdot 2,9 \cdot 11000} = 2,134$$

Активное сопротивление обмотки ротора, приведенное к обмотке статора асинхронного двигателя:

$$R_2' = \frac{A_1}{C_1 \cdot \left(\beta + \frac{1}{s_{\kappa}} \right)} = \frac{2,134}{1,034 \cdot \left(1 + \frac{1}{0,191} \right)} = 0,331 \text{ Ом.}$$

Активное сопротивление статорной обмотки можно определить по следующему выражению:

$$R_1 = c_1 \cdot R_2' \cdot \beta = 1,034 \cdot 0,331 \cdot 1 = 0,342 \text{ Ом.}$$

Определим параметр γ , который позволит найти индуктивное сопротивление короткого замыкания X_{κ} :

$$\gamma = \sqrt{\left(\frac{1}{s_{\kappa}^2} \right) - \beta^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{0,191^2} \right) - 1^2} = 5,137,$$

тогда

$$X_{\kappa H} = \gamma \cdot c_1 \cdot R_2' = 5,137 \cdot 1,034 \cdot 0,331 = 1,759 \text{ Ом.}$$

Индуктивное сопротивление статорной обмотки может быть определено по следующему выражению:

$$X_{1н} = 0,42 \cdot X_{кн} = 0,42 \cdot 1,759 = 0,739 \text{ Ом.}$$

Индуктивность обмотки статора, обусловленная потоком рассеяния, в номинальном режиме:

$$L_{1н} = \frac{X_{1н}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1н}} = \frac{0,739}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 2,351 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.}$$

Индуктивное сопротивление роторной обмотки, приведенное к статорной, может быть рассчитано:

$$X'_{2н} = \frac{0,58 \cdot X_{кн}}{c_1} = \frac{0,58 \cdot 1,759}{1,034} = 0,986 \text{ Ом.}$$

Индуктивность обмотки ротора, обусловленная потоком рассеяния, в номинальном режиме:

$$L'_{2\sigma} = \frac{X'_{2\sigma}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1н}} = \frac{1,45}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 3,211 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.}$$

По найденным значениям $C_1, R'_2, X_{кн}$ определим критическое скольжение:

$$s_{k1} = \frac{C_1 \cdot R'_2}{\sqrt{R_1^2 + X_{кн}^2}} = \frac{1,034 \cdot 0,339}{\sqrt{0,342^2 + 1,759^2}} = 0,191$$

Так как $s_k = s_{k1}$, то корректировать значение коэффициента β не нужно.

Согласно векторной диаграмме ЭДС ветви намагничивания E_1 , наведенная потоком воздушного зазора в обмотке статора в номинальном режиме, равна

$$\begin{aligned} E_1 &= \sqrt{(U_{1н} \cdot \cos \varphi_n - I_{1н} \cdot R_1)^2 + (U_{1н} \cdot \sin \varphi_n - I_{1н} \cdot X_{1н})^2} = \\ &= \sqrt{(220 \cdot 0,82 - 22,966 \cdot 0,342)^2 + (220 \cdot 0,572 - 22,966 \cdot 0,739)^2} = 204,06 \text{ В.} \end{aligned}$$

где $-\sin \varphi_n = \sin(a \cos(\cos \varphi_n)) = \sin(a \cos(0,82)) = 0,572$.

Тогда индуктивное сопротивление контура намагничивания:

$$X_\mu = \frac{E_1}{I_0} = \frac{204,06}{10,272} = 19,866 \text{ Ом.}$$

Результирующая индуктивность, обусловленная магнитным потоком воздушном зазоре, создаваемым суммарным действием токов статора (индуктивность контура намагничивания)

$$L_{\mu} = \frac{X_{\mu}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{19,866}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 0,063 \text{ Гн}.$$

Рассчитанные параметры схемы замещения сведены в таблице 3.

Таблица 3 – Параметры схемы замещения электродвигателя

R_1 , Ом	X_{1H} , Ом	L_{1H} , Гн	R_2' , Ом	X_{2H}' , Ом	L_{2H}' , Гн	X_{μ} , Ом	X_{KH} , Ом	L_{μ} , Гн
0,342	0,739	0,002351	0,331	0,986	0,003139	19,866	1,759	0,063

3.4 Расчет механических и электромеханических характеристик асинхронного двигателя

Синхронная угловая скорость:

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{p} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 50}{3} = 104,72 \text{ рад/с}$$

Номинальная угловая скорость:

$$\omega_n = \omega_0 \cdot (1 - s_n) = 104,72 \cdot (1 - 0,03) = 101,578 \text{ рад/с}$$

Критическая угловая скорость:

$$\omega_k = \omega_0 \cdot (1 - s_k) = 104,72 \cdot (1 - 0,191) = 84,711 \text{ рад/с}$$

Естественная электромеханическая характеристика рассчитывается для частоты 50 Гц по выражению:

$$I_1(\omega) = \sqrt{I_0^2 + I_2'(\omega)^2 + 2 \cdot I_0 \cdot I_2'(\omega) \cdot \sin \varphi_2(s)}$$

Приведенный к обмотке статора ток ротора:

$$I_0 = \frac{U_{1\phi H}}{\sqrt{R_1^2 + (X_{1H} + X_{\mu})^2}} = \frac{220}{\sqrt{0,342^2 + (0,739 + 19,866)^2}} = 10,272 \text{ А}$$

Ток ротора вычисляется по формуле:

$$I_2'(s) = \frac{U_{1\phi_n}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{\kappa n}^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_\mu}\right)^2}}$$

Ток в роторе при номинальном скольжении:

$$I_{2n}'(s) = \frac{U_{1\phi_n}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s_n}\right)^2 + X_{\kappa n}^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s_n \cdot X_\mu}\right)^2}} =$$

$$= \frac{220}{\sqrt{\left(0,342 + \frac{0,331}{0,03}\right)^2 + 1,759^2 + \left(\frac{0,342 \cdot 0,331}{0,03 \cdot 19,866}\right)^2}} = 19,111 \text{ A}$$

Ток в роторе при критическом скольжении:

$$I_{2kp}'(s) = \frac{U_{1\phi_n}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s_{kp}}\right)^2 + X_{\kappa n}^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s_{kp} \cdot X_\mu}\right)^2}} =$$

$$= \frac{220}{\sqrt{\left(0,342 + \frac{0,331}{0,191}\right)^2 + 1,759^2 + \left(\frac{0,342 \cdot 0,331}{0,191 \cdot 19,866}\right)^2}} = 80,884 \text{ A}$$

Действующее значение тока холостого хода вычисляется по следующему выражению:

$$\sin \varphi_2(s) = \frac{X_{\kappa n}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{\frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}}\right)^2 + X_{\kappa n}^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{\frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0} \cdot X_\mu}\right)^2}}$$

Действующее значение тока холостого хода при номинальном скольжении:

$$\sin \varphi_{2H}(s) = \frac{X_{KH}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s_H}\right)^2 + X_{KH}^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s_H \cdot X_\mu}\right)^2}} =$$

$$= \frac{1,759}{\sqrt{\left(0,342 + \frac{0,331}{0,03}\right)^2 + 1,759^2 + \left(\frac{0,342 \cdot 0,331}{0,03 \cdot 19,866}\right)^2}} = 0,153 \text{ A}$$

Действующее значение тока холостого хода при критическом скольжении:

$$\sin \varphi_{2kp}(s) = \frac{X_{KH}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s_{kp}}\right)^2 + X_{KH}^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s_{kp} \cdot X_\mu}\right)^2}} =$$

$$= \frac{1,759}{\sqrt{\left(0,342 + \frac{0,331}{0,191}\right)^2 + 1,759^2 + \left(\frac{0,342 \cdot 0,331}{0,191 \cdot 19,866}\right)^2}} = 0,647 \text{ A}$$

Номинальный ток статора при номинальной частоте вращения:

$$I_1(\omega_n) = \sqrt{I_0^2 + I_2'(\omega_n)^2 + 2 \cdot I_0 \cdot I_2'(\omega_n) \cdot \sin \varphi_{2H}(s_n)} =$$

$$= \sqrt{10,272^2 + 19,111^2 + 2 \cdot 10,272 \cdot 19,111 \cdot 0,153} = 23 \text{ A}$$

Ток статора при критическом скольжении:

$$I_1(\omega_{kp}) = \sqrt{I_0^2 + I_2'(\omega_{kp})^2 + 2 \cdot I_0 \cdot I_2'(\omega_{kp}) \cdot \sin \varphi_{2kp}(s_{kp})} =$$

$$= \sqrt{10,272^2 + 80,87^2 + 2 \cdot 10,272 \cdot 80,87 \cdot 0,647} = 87,458 \text{ A}$$

На рисунке 5 показана естественная электромеханическая характеристика для тока статора.

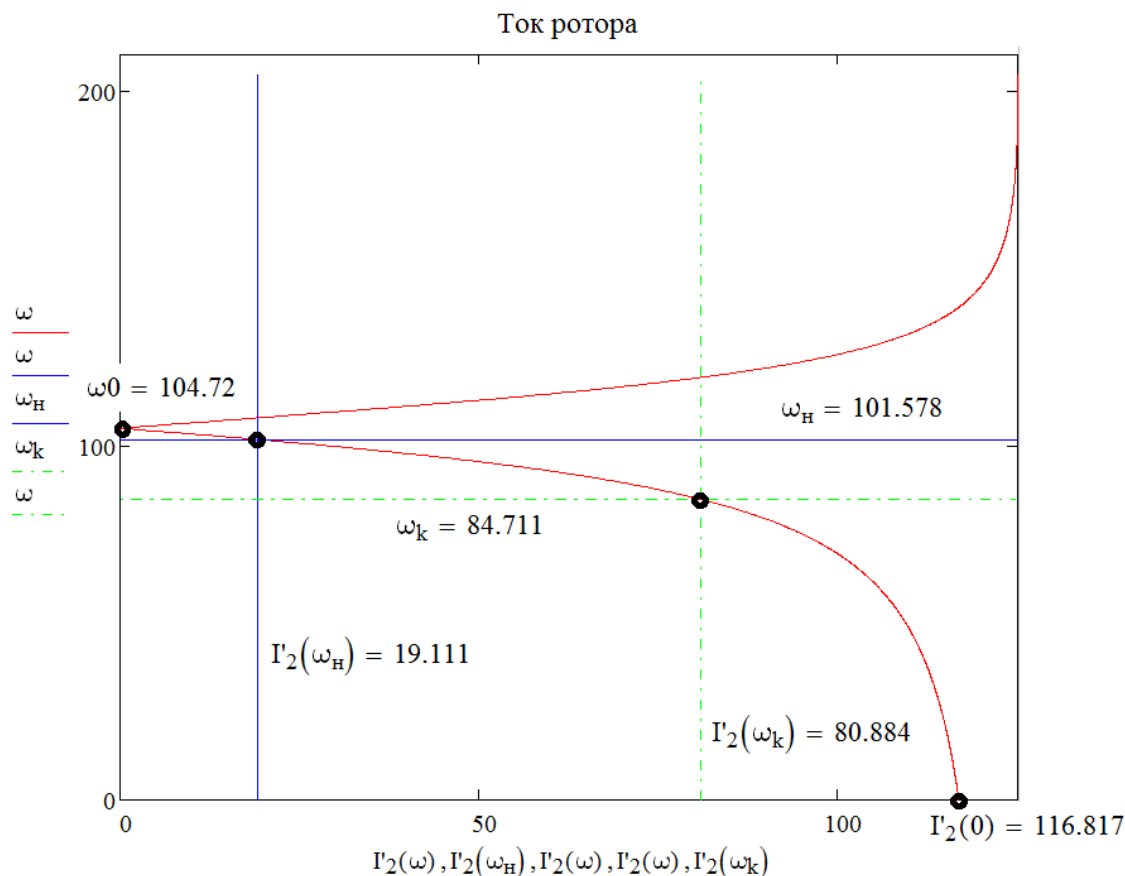


Рисунок 5 – Естественная электромеханическая характеристика для тока ротора

Номинальная скорость вращения двигателя равна $\omega_n = 101,578$ рад/с, ток ротора двигателя при номинальной скорости равен $I_2'(\omega_n) = 19,111$ А. На электромеханической характеристике видно пересечение линий скорости и тока, следовательно, номинальная точка характеристики посчитана правильно.

Второй контрольной точкой является критическая, при которой момент является максимальным. В данной точке линия скорости со значением $\omega_k = 84,711$ рад/с пересекается с линией $I_2'(\omega_k) = 80,884$ А. Соответственно, точка посчитана верно. При скольжении, равном единице (режим короткого замыкания) ток в роторе двигателя равняется 116,817 А. При синхронной скорости вращения ток равняется нулю, а скорость вращения равняется 104,72 рад/с, скольжение равняется нулю.

На рисунке 6 показана естественная электромеханическая характеристика для тока статора.

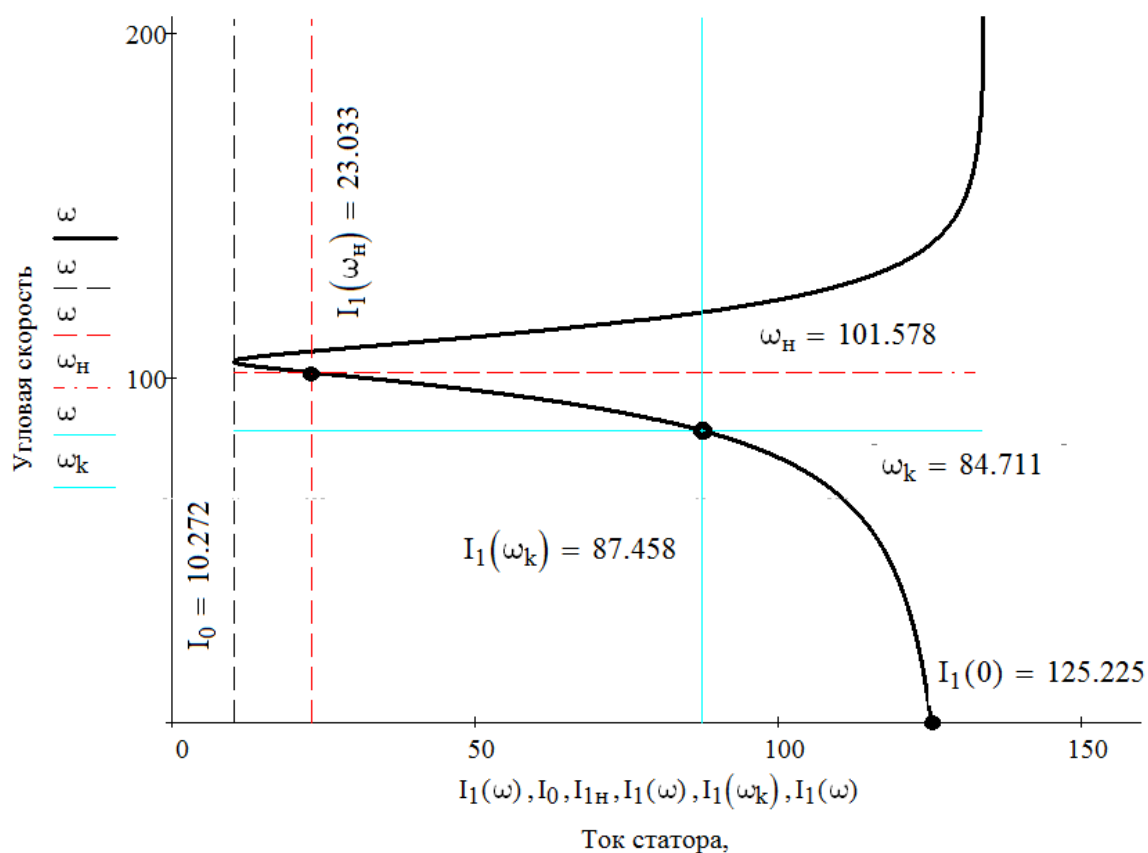


Рисунок 6 – Естественная электромеханическая характеристика для тока статора

Первой контрольной точкой является точка номинального режима работы при номинальной скорости вращения двигателя, которая равна $\omega_H = 101,578$ рад/с. Ток статора двигателя при номинальной скорости равен $I_1(\omega_H) = 23$ А. В точке номинального режима работы происходит пересечение линии тока статора и номинальной скорости вращения двигателя, следовательно, точка посчитана верно.

Второй контрольной точкой является критическая, при которой момент является максимальным. В данной точке линия скорости со значением $\omega_k = 84,711$ рад/с пересекается с линией $I_1(\omega_k) = 87,458$ А. Соответственно, точка посчитана, верно. При скольжении, равном единице (режим короткого

замыкания) ток в роторе двигателя равняется 125,225 А. Данное значение не совпадает с расчетным. Это связано с вытеснением тока в проводниках, соответственно, сопротивление увеличивается, следовательно, пусковой ток становится меньше.

Так же на характеристике видно, что она начинается не от начала оси ординат (ось скорости), а начинается от некоторого значения, которое равняется току холостого хода двигателя. Он равен $I_0 = 10,272$ А. Исходя из полученных результатов можно сказать о том, что характеристика построена верно, так как происходит пересечение номинального тока и номинальной скорости при номинальном режиме, пересечение линии критической скорости и тока при критическом скольжении в точке критического скольжения, скорость равняется синхронной в точке пересечения характеристики с линией тока холостого хода.

По паспортным данным номинальный ток двигателя равняется 23 А, а по расчетным данным 22,966, что подтверждает правильность расчетных выражений.

Формула для расчета естественной механической характеристики:

$$M(\omega) = \frac{3 \cdot U_{1\phi n}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0} \cdot \left[X_{\kappa n}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{\frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{\frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0} \cdot X_\mu} \right)^2 \right]}.$$

Проверка адекватности расчетных параметров двигателя

При найденных параметрах рассчитываются значения номинального электромагнитного момента двигателя.

$$M_{\text{эм.н}}^* = \frac{3 \cdot U_{1\phi\text{н}}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s_{\text{н}} \cdot \left[X_{\text{кн}}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s_{\text{н}}} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s_{\text{н}} \cdot X_{\mu}} \right)^2 \right]} =$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 0,331}{104,72 \cdot 0,03 \cdot \left[1,759^2 + \left(0,342 + \frac{0,331}{0,03} \right)^2 + \left(\frac{0,342 \cdot 0,331}{0,03 \cdot 19,866} \right)^2 \right]} = 115,436 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

$$M_{\text{эм.н}}^{**} = \frac{3}{2} \cdot z_p \cdot \frac{L_m}{(L_m + L_{2\sigma})} \cdot \Psi_{2\text{н}} \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{I_{1\text{н}}^2 - I_0^2} =$$

$$= \frac{3}{2} \cdot 3 \cdot \frac{0,063}{(0,063 + 3,139 \cdot 10^{-3})} \cdot 0,919 \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{23^2 - 10,272^2} = 114,402 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

Где -

$$\Psi_{2\text{н}} = \sqrt{2} \cdot I_0 \cdot L_m = \sqrt{2} \cdot 10,272 \cdot 0,063 = 0,919 \text{ Вб}.$$

Номинальный момент двигателя:

$$M_{\text{овн}} = \frac{P_{\text{н}}}{\omega_{\text{н}}} = \frac{11000}{101,578} = 108,291 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Должны выполняться условия:

$$M_{\text{ов.н}} < M_{\text{эм.н}}^* \leq 1,1 \cdot M_{\text{ов.н}} = 108,291 < 115,436 \leq 119,1201;$$

$$M_{\text{эм.н}}^{**} \approx M_{\text{эм.н}}^* \cdot 115,436 \approx 114,402$$

Критический момент:

$$M(\omega_{\text{кр}}) = \frac{3 \cdot U_{1\phi\text{н}}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s_{\text{кр}} \cdot \left[X_{\text{кн}}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s_{\text{кр}}} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s_{\text{кр}} \cdot X_{\mu}} \right)^2 \right]} = 324,693 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

На рисунке 7 показана естественная механическая характеристика.

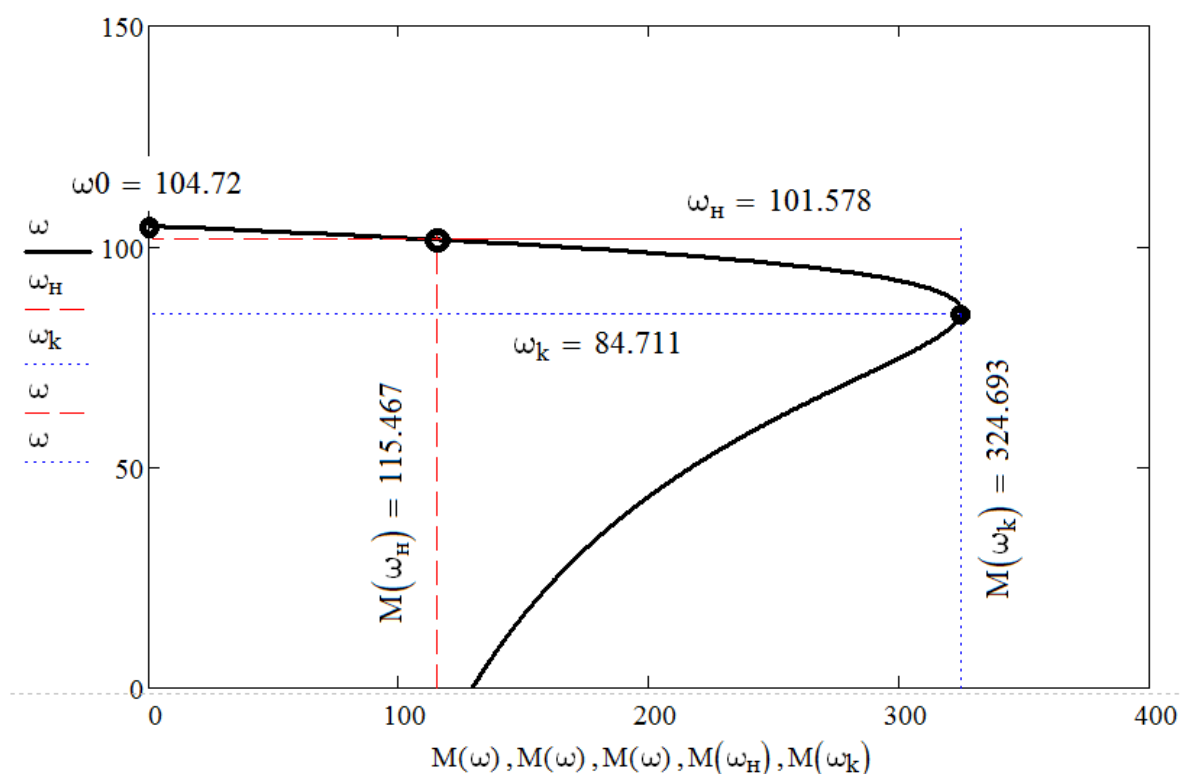


Рисунок 7 – Механическая характеристика

Первой контрольной точкой является точка номинального режима работы при номинальной скорости вращения двигателя, которая равна $\omega_n = 101,578$ рад/с. Момент двигателя при номинальной скорости равен $M = 115,467$ Н*м. В точке номинального режима работы происходит пересечение линии момента двигателя и номинальной скорости вращения двигателя, следовательно, точка рассчитана верно.

Второй контрольной точкой является критическая, при которой момент является максимальным. В данной точке линия скорости со значением $\omega_k = 84,711$ рад/с пересекается с линией момента $M = 324,693$ Н*м. Соответственно, точка посчитана верно.

3.5 Структурная схема асинхронного двигателя

Структурная схема асинхронного двигателя с КЗ ротором во вращающейся системе координат d, q представлена на рисунке 8 [8].

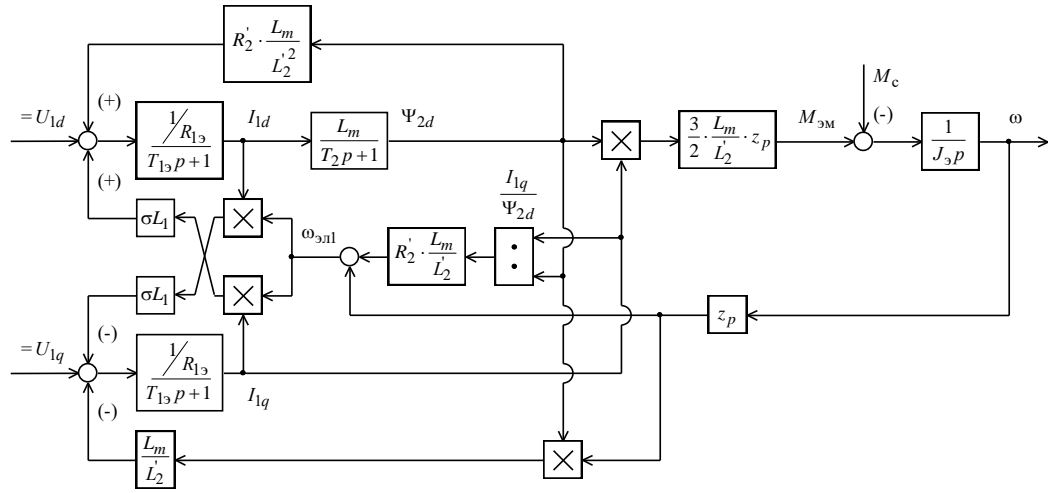


Рисунок 8 – Структурная схема АД во вращающейся системе координат d, q

Математическое описание данной модели:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dI_{1d}}{dt} = \frac{1}{\sigma \cdot L_1} \cdot U_{1d} - \frac{R_{1s}}{\sigma \cdot L_1} \cdot I_{1d} + \frac{R_2' \cdot L_m}{\sigma \cdot L_1 \cdot L_2'^2} \cdot \Psi_{2d} + \omega_{\text{к}} \cdot I_{1q}, \\ \frac{dI_{1q}}{dt} = \frac{1}{\sigma \cdot L_1} \cdot U_{1q} - \frac{R_{1s}}{\sigma \cdot L_1} \cdot I_{1q} - \omega_{\text{к}} \cdot I_{1d} - \frac{L_m}{\sigma \cdot L_1 \cdot L_2'} \cdot z_p \cdot \omega \cdot \Psi_{2d}, \\ \frac{d\Psi_{2d}}{dt} = -\frac{R_2'}{L_2} \cdot \Psi_{2d} + \frac{R_2' \cdot L_m}{L_2'} \cdot I_{1d}, \\ 0 = -\frac{R_2' \cdot L_m}{L_2'} \cdot I_{1q} - (\omega_{\text{к}} - z_p \cdot \omega) \cdot \Psi_{2d}, \\ M_{\text{эм}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{L_m}{L_2'} \cdot z_p \cdot \Psi_{2d} \cdot I_{1q}, \\ J_{\text{э}} \cdot \frac{d\omega}{dt} = M_{\text{эм}} - M_{\text{с}}. \end{array} \right.$$

Где $U_{1d} = U_{1q} = U_1$ – постоянные по форме составляющие напряжения статора в ориентированной по вектору потокосцепления ротора $\vec{\Psi}_2$ вращающейся синхронно с полем статора системе координат d, q.

I_{1d}, I_{1q} – составляющие тока статора в системе координат d, q, А;

$\Psi_{2d} = \left| \vec{\Psi}_2 \right|$ – потокосцепление ротора в системе координат d, q, Вб.

В операторной форме записи:

$$\begin{cases} U_{1d} = R_{1\sigma}(T_{1\sigma} \cdot p + 1) \cdot I_{1d} - \frac{R_2' \cdot L_m}{L_2'^2} \cdot \Psi_{2d} - \omega_{kc} \cdot \sigma \cdot L_1 \cdot I_{1q}; \\ U_{1q} = R_{1\sigma}(T_{1\sigma} \cdot p + 1) \cdot I_{1q} + \omega_{kc} \cdot \sigma \cdot L_1 \cdot I_{1d} - \frac{L_m}{L_2'^2} \cdot z_p \cdot \omega \cdot \Psi_{2d}; \\ 0 = (T_2 p + 1) \cdot \Psi_{2d} - L_m \cdot I_{1d}; \\ \omega_{kc} = z_p \cdot \omega + \frac{L_m \cdot R_2'}{L_2'} \cdot \frac{I_{1q}}{\Psi_{2d}}; \\ M_{эм} = \frac{3}{2} \cdot \frac{L_m}{L_2'} \cdot z_p \cdot \Psi_{2d} \cdot I_{1q}; \\ \omega = \frac{1}{J_\sigma \cdot p} \cdot (M_{эм} - M_c). \end{cases}$$

Этим уравнениям соответствует структурная схема (рисунок 13).

3.6 Расчет переходных процессов пуска асинхронного двигателя прямым включением в сеть и при изменении нагрузки. Анализ полученных результатов

Схема для получения графиков прямого пуска показана на рисунке 9.

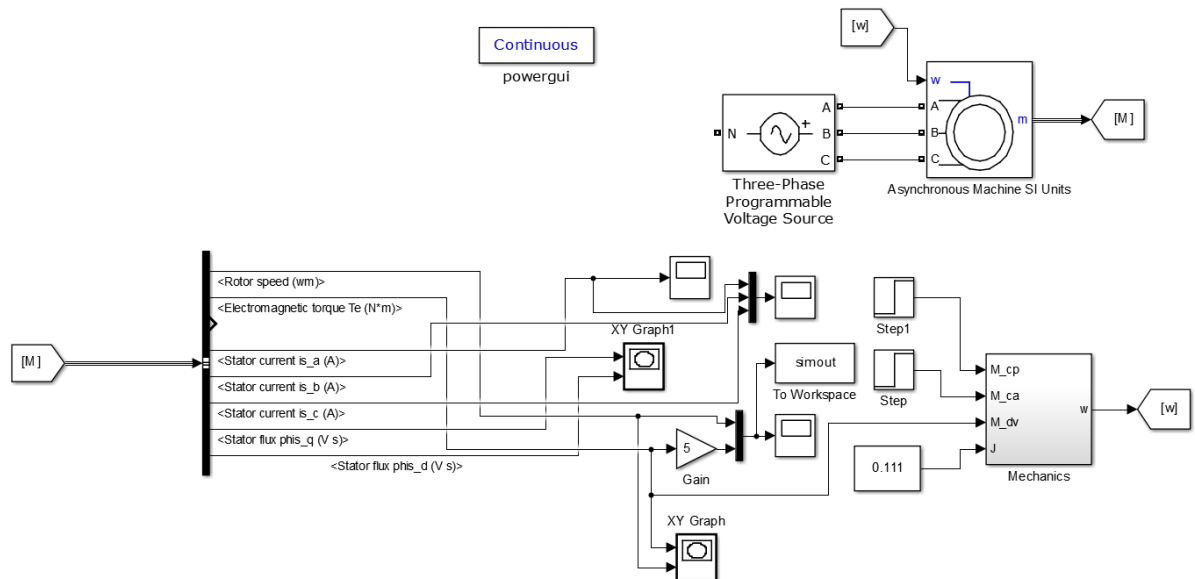


Рисунок 9 – Имитационная модель для получения переходных процессов прямого пуска

Параметры двигателя показаны на рисунке 10.

Nominal power, voltage (line-line), and frequency [Pn(VA), Vn(Vrms), fn(Hz)]:

[11000, 380, 50]

Stator resistance and inductance[Rs(ohm) Lls(H)]:

[0.342 0.002351]

Rotor resistance and inductance [Rr'(ohm) Llr'(H)]:

[0.331 0.003139]

Mutual inductance Lm (H):

0.063

Pole pairs p ():

3

Рисунок 10 – Параметры двигателя

На рисунках 11, 12, 13 и 14 показаны графики переходных процессов двигателя для пуска и наброса статической нагрузки для токов, электромагнитного момента двигателя и частоты вращения.

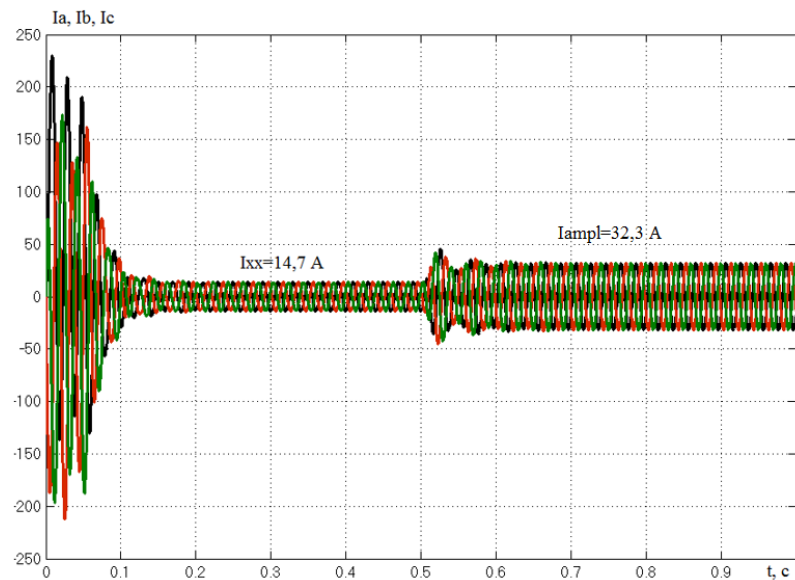


Рисунок 11 – График токов статора

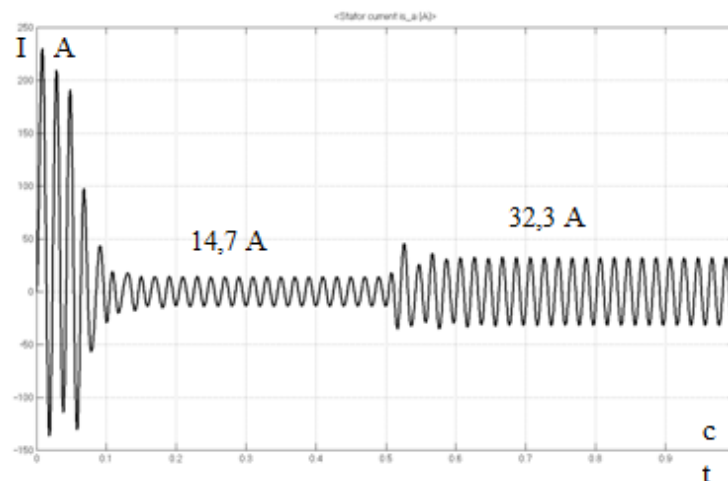


Рисунок 12 – График тока статора фазы А

На рисунках 11 и 12 видно, что при прямом пуске происходит большой скачок тока, в связи с тем, что в начальный момент пуска ротор неподвижен, т. е. скольжение равно единице. Соответственно, двигатель работает как трансформатор, как будто его вторичные обмотки закорочены. Затем скольжение начинает уменьшаться, двигатель набирает скорость и ток падает до тока холостого хода, который равен $I_0 = \frac{14,7}{\sqrt{2}} = 10,4 \text{ А} \approx 10,3 \text{ А}$, расчетный ток практически равен току при моделировании. Затем происходит наброс нагрузки, после чего ток увеличивается до величины, равной $I_n = \frac{32,3}{\sqrt{2}} = 22,9 \text{ А} \approx 22,966 \text{ А}$. Полученные расчетные значения и графические практически одинаковые, что говорит о правильности моделирования двигателя.

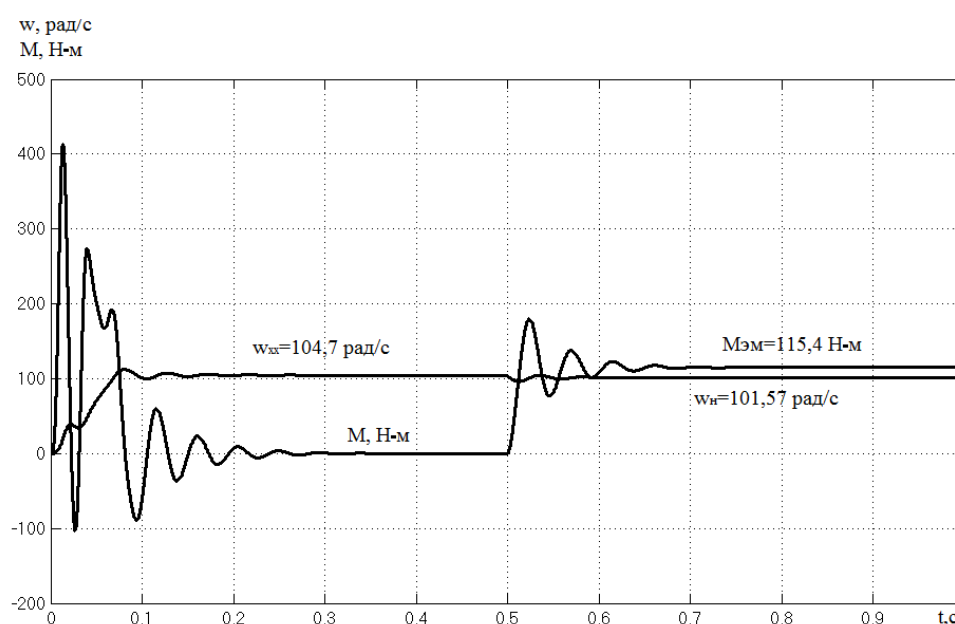


Рисунок 13 – График электромагнитного момента и частоты вращения двигателя

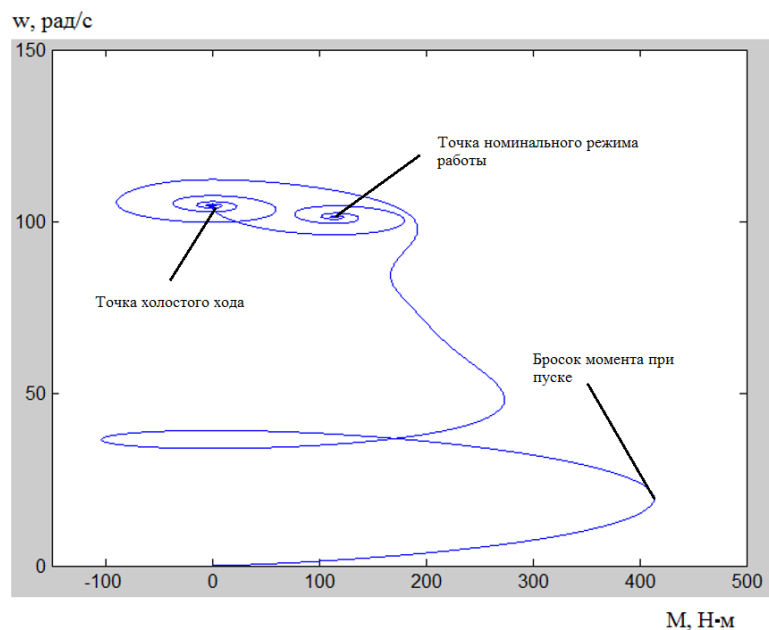


Рисунок 14 – Динамическая механическая характеристика

На рисунке 14 видно, что при пуске двигателя происходит большой бросок момента. В дальнейшем момент падает до нуля, так как двигатель вращается на холостом ходу. После чего происходит наброс нагрузки и момент становится равным $M = 115,4 \text{ Н} \cdot \text{м}$. Скорость на холостом ходу равна синхронной скорости вращения, т. е. $\omega_0 = 104,7 \text{ рад/с}$. При набросе номинальной нагрузки частота вращения двигателя падает до номинальной частоты вращения $\omega_1 = 101,57 \text{ рад/с}$.

На динамической механической характеристике показана зависимость частоты вращения двигателя от электромагнитного момента. На рисунке 19 видно, что бросок момента равен броску момента на рисунке 18. В дальнейшем двигатель выходит на установившийся режим – холостой ход. Характеристика момента вращается вокруг данной точки ($M = 0, \omega = \omega_0$). Затем происходит наброс нагрузки, характеристика начинает вращаться вокруг точки номинального режима работы (M_n, ω_n).

3.7 Обоснование и выбор функциональной схемы электропривода переменного тока с фазовым регулированием скорости. Назначение и область применения.

3.7.1 Обоснование и выбор регулятора напряжения

Так как у пневмовинтового насоса присутствует шнек, то исходя из таблицы 4.2 [14] привод имеет тяжелый пуск. Следовательно, требуется софтстартер, позволяющий осуществить ограничение тока при таком пуске.

Тяжелый режим работы характеризуется наличием нагрузки, имеющей большее значение момента инерции и требующее значение пускового тока $I_{\text{пуск}} < 4,5 I_{\text{н}}$, со временем пуска не превышающим 30 с.

Для электропривода выбираем софтстартер ЭНЕРДЖИСЕЙВЕР ES11 ИСП. IP54 УХЛ4 380В, 24 А, 11кВт со следующими характеристиками [9], показанными в таблице 4.

Таблица 4 – Параметры софтстартера

Характеристики	Контроллер ЭнерджиСейвер ES11 исп. IP54 УХЛ4 380В, 24А, 11кВт
Номинальное напряжение, В	380
Допустимый номинальный ток двигателя при легком и нормальном режиме запуска, А, не более	24
Допустимый номинальный ток двигателя при тяжелом режиме запуска, А, не более	24
Допустимый номинальный ток двигателя при очень тяжелом режиме запуска, А, не более	24
Функция энергосбережения и коррекции коэффициента мощности	+
Наличие интерфейса RS485	+
Степень защиты	IP54
Диапазон рабочих температур	-10...+40

Степень защиты IP54 обеспечивает защиту от попадания в силовой преобразователь цементной пыли.

3.7.2 Расчет электромеханических и механических характеристик разомкнутой системы «регулятор напряжения – асинхронный двигатель» для различных задающих напряжений

На рисунках 15, 16 показаны механические и электромеханические характеристики, полученные для $0.2U_{1н}$, $0.4U_{1н}$, $0.6U_{1н}$, $0.8U_{1н}$.

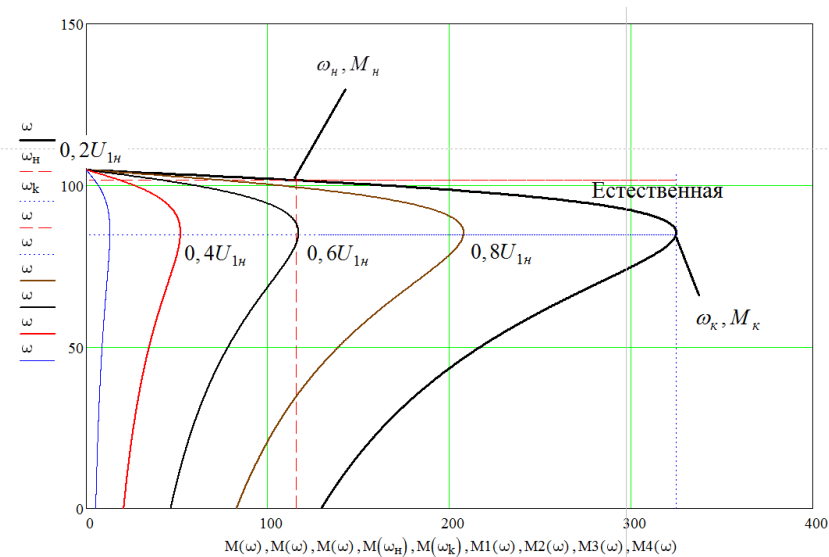


Рисунок 15 – Механические характеристики при изменении питающего напряжения

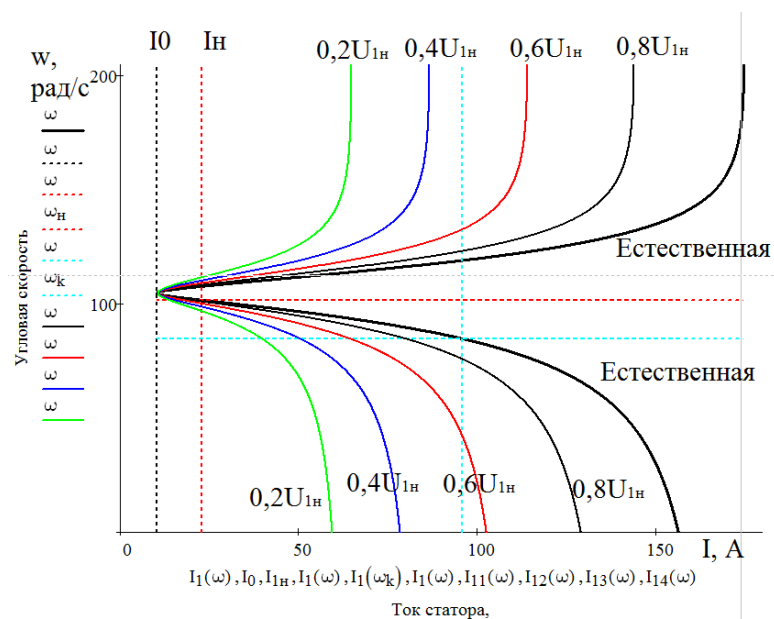


Рисунок 16 – Электромеханические характеристики при изменении питающего напряжения

3.7.3 Анализ полученных результатов

При изменении питающего напряжения существенно уменьшается критический момент двигателя (пропорционально квадрату напряжения).

$$M(\omega) = \frac{3 \cdot U_{1\phi n}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0} \cdot \left[X_{\kappa n}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{\frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{\frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0} \cdot X_\mu} \right)^2 \right]}$$

Эти характеристики получены без учета падений напряжений в питающей сети, при коммутации тиристоров и тд. Следовательно, в реальном приводе двигатель может не запуститься при большой статической нагрузке.

Анализируя полученные электромеханические характеристики, можно сделать вывод о том, что пропорционально напряжению уменьшается ток короткого замыкания, что благоприятно сказывается на двигателе и питающей сети, а также на динамику электропривода. Из электромеханических характеристик видно, что ток короткого замыкания снизился практически в 3 раза при напряжении питания $0.2U_{1н}$ по сравнению с естественной характеристикой с номинальным напряжением. Также уменьшается потребляемый ток двигателя при одинаковых скоростях.

Однако решающее значение имеют механические характеристики.

3.8 Потери в асинхронном двигателе при работе на искусственных характеристиках

При работе на естественной характеристике потери определяются следующими выражениями:

$$\begin{aligned} \Delta P_{M1} &= \left[\frac{I_0}{I_{1н}} + \left(1 - \frac{I_0}{I_{1н}} \right) \mu_c^2 \right] \cdot \Delta P_{M1н}; \\ \Delta P_{M2} &= \mu_c^2 \cdot \Delta P_{M2н}; \\ \Delta P_{c1} &= \left[B + (1 - B) \mu_c^2 \right] \cdot \Delta P_{c1н}, \end{aligned}$$

где $\Delta P_{M1H} = 3 \cdot I_{1H}^2 \cdot R_1$ – номинальные потери в меди статора, Вт;

$\Delta P_{M2H} = 3 \cdot (I_{2H}')^2 \cdot R_2'$ – номинальные потери в обмотке ротора, Вт;

$\Delta P_{c1H} = \Delta P_H - \left(\Delta P_{M1H} + 1,5 \cdot 10^{-2} P_H + 10^{-2} \frac{P_H \cdot s_H}{1 - s_H} \right)$ – номинальные по-

тери в стали статора, Вт;

$\Delta P_H = \frac{P_H \cdot (1 - \eta_H)}{\eta_H}$ – суммарные потери в двигателе, Вт;

$\mu_c = \frac{M_c}{M_H}$ – относительное значение момента статической нагрузки, о. е.;

B – конструктивный коэффициент, зависящий от серии асинхронного двигателя, о. е.; $B = 0,96 - 0,98$ – для серий асинхронных двигателей 4А–6А; $B = 0,94 - 0,97$ – для краново-металлургической серии.

При работе на регулировочной характеристике, реализуемой за счет снижения напряжения обмотки статора, полные электромагнитные потери в асинхронном двигателе определяются в соответствии с выражениями:

$$\Delta P_{M1} = 1,1 \cdot \mu_c^2 \left[\frac{I_0 \cdot s_H}{I_{1H} \cdot s} + \left(1 - \frac{I_0}{I_{1H}} \right) \frac{s_H}{s} \right] \cdot \Delta P_{M1H};$$

$$\Delta P_{M2} = 1,1 \cdot \mu_c^2 \left(\frac{s}{s_H} \right) \cdot \Delta P_{M2H};$$

$$\Delta P_{c1} = \mu_c^2 \cdot \left[B \frac{s_H}{s} + (1 - B) \frac{s}{s_H} \right] \cdot \Delta P_{c1H}.$$

Расчет потерь для естественной характеристики:

$$\Gamma_2(\omega_H) = 19.211 \quad \omega_H = 101.578 \quad \Gamma_2(101.85) = 17.613$$

$$\Gamma_{22} := \Gamma_2(\omega_H)$$

$$\Delta P_{M1H} := 3 \cdot I_{1H}^2 \cdot R_1 = 541.739$$

$$\Delta P_{M2H} := 3 \cdot \Gamma_{22}^2 \cdot R_2' = 366.442$$

$$\Delta P_H := \frac{P_H \cdot (1 - \eta_H)}{\eta_H} = 1.429 \times 10^3$$

$$\Delta P_{c1H} := \Delta P_H - \left(\Delta P_{M1H} + 1,5 \cdot 10^{-2} \cdot P_H + 10^{-2} \cdot \frac{P_H \cdot s_H}{1 - s_H} \right) = 719.237$$

$$M_c := M(101.61) = 114.419$$

$$\mu_c := \frac{M_c}{M_{emH}} = 0.991$$

$$\Delta P_{M1} := \left[\frac{I_0}{I_{1H}} + \left(1 - \frac{I_0}{I_{1H}} \right) \mu_c^2 \right] \cdot \Delta P_{M1H} = 536.656$$

$$\Delta P_{M2} := \mu_c^2 \cdot \Delta P_{M2H} = 360.016$$

$$\Delta P := \Delta P_{M1} + \Delta P_{M2} + \Delta P_{c1H} = 1.616 \times 10^3$$

Расчет потерь для характеристики при 0,8U:

$$\omega_{08} := 99.919$$

$$s_{08} := \frac{\omega_0 - \omega_{08}}{\omega_0} = 0.046$$

$$M_c := 106.83 = 106.83$$

$$\mu_c := \frac{M_c}{M_{emn}} = 0.925$$

$$\Delta P_{m11} := 1.1 \cdot \mu_c^2 \left[\frac{I_0 \cdot s_H}{I_{1H} \cdot s_{08}} + \left(1 - \frac{I_0}{I_{1H}} \right) \frac{s_H}{s_{08}} \right] \cdot \Delta P_{m1H} = 333.987$$

$$\Delta P_{m21} := 1.1 \mu_c^2 \cdot \Delta P_{m2H} \cdot \left(\frac{s_{08}}{s_H} \right) = 527.55$$

$$B := 0.98$$

$$\Delta P_{c11} := \mu_c^2 \cdot \left[B \cdot \frac{s_H}{s_{08}} + (1 - B) \cdot \frac{s_{08}}{s_H} \right] \cdot \Delta P_{c1H} = 413.869$$

$$\Delta P_1 := \Delta P_{m11} + \Delta P_{m21} + \Delta P_{c11} = 1.275 \times 10^3$$

Расчет потерь для 0,6U:

$$\omega_{06} := 96.3$$

$$s_{06} := \frac{\omega_0 - \omega_{06}}{\omega_0} = 0.08$$

$$M_c := 89.3 = 89.3$$

$$\mu_c := \frac{M_c}{M_{emn}} = 0.774$$

$$\Delta P_{m11} := 1.1 \cdot \mu_c^2 \left[\frac{I_0 \cdot s_H}{I_{1H} \cdot s_{06}} + \left(1 - \frac{I_0}{I_{1H}} \right) \frac{s_H}{s_{06}} \right] \cdot \Delta P_{m1H} = 133.063$$

$$\Delta P_{m21} := 1.1 \mu_c^2 \cdot \Delta P_{m2H} \cdot \left(\frac{s_{06}}{s_H} \right) = 646.503$$

$$B := 0.98$$

$$\Delta P_{c11} := \mu_c^2 \cdot \left[B \cdot \frac{s_H}{s_{06}} + (1 - B) \cdot \frac{s_{06}}{s_H} \right] \cdot \Delta P_{c1H} = 180.459$$

$$\Delta P_1 := \Delta P_{m11} + \Delta P_{m21} + \Delta P_{c11} = 960.024$$

Расчет потерь для 0.4 U:

$$\omega_{04} := 84.919$$

$$s_{04} := \frac{\omega_0 - \omega_{04}}{\omega_0} = 0.189$$

$$M_c := 52.417 = 52.417$$

$$\mu_c := \frac{M_c}{M_{emn}} = 0.454$$

$$\Delta P_{m11} := 1.1 \cdot \mu_c^2 \left[\frac{I_0 \cdot s_H}{I_{1H} \cdot s_{04}} + \left(1 - \frac{I_0}{I_{1H}} \right) \frac{s_H}{s_{04}} \right] \cdot \Delta P_{m1H} = 19.495$$

$$\Delta P_{m21} := 1.1 \mu_c^2 \cdot \Delta P_{m2H} \cdot \left(\frac{s_{04}}{s_H} \right) = 523.834$$

$$B := 0.98$$

$$\Delta P_{c11} := \mu_c^2 \cdot \left[B \cdot \frac{s_H}{s_{04}} + (1 - B) \cdot \frac{s_{04}}{s_H} \right] \cdot \Delta P_{c1H} = 41.752$$

$$\Delta P_1 := \Delta P_{m11} + \Delta P_{m21} + \Delta P_{c11} = 585.081$$

Для напряжения 0,2U расчет потерь не производился, так как при таком напряжении двигателю не хватает момента для работы на данной характеристике.

Как видно из расчетов, что при снижении напряжения уменьшаются суммарные потери. Это связано с тем, что при уменьшении напряжения падает жесткость характеристики двигателя, и происходит пересечение с кривой нагрузки на более низких скоростях. Так как вентиляторная нагрузка зависит от скорости вращения, то и момент нагрузки будет меньший. Если бы нагрузка была чисто реактивной или активной, то потери из-за увеличения скольжения возросли.

3.9 Расчет переходных процессов скорости и момента для режима пуска, сброса, наброса нагрузки на валу двигателя для режимов прямого пуска и пуска от задатчиков интенсивности с различными законами изменения напряжения управления и вентиляторной нагрузкой на валу

На рисунке 22 показан график прямого пуска двигателя.

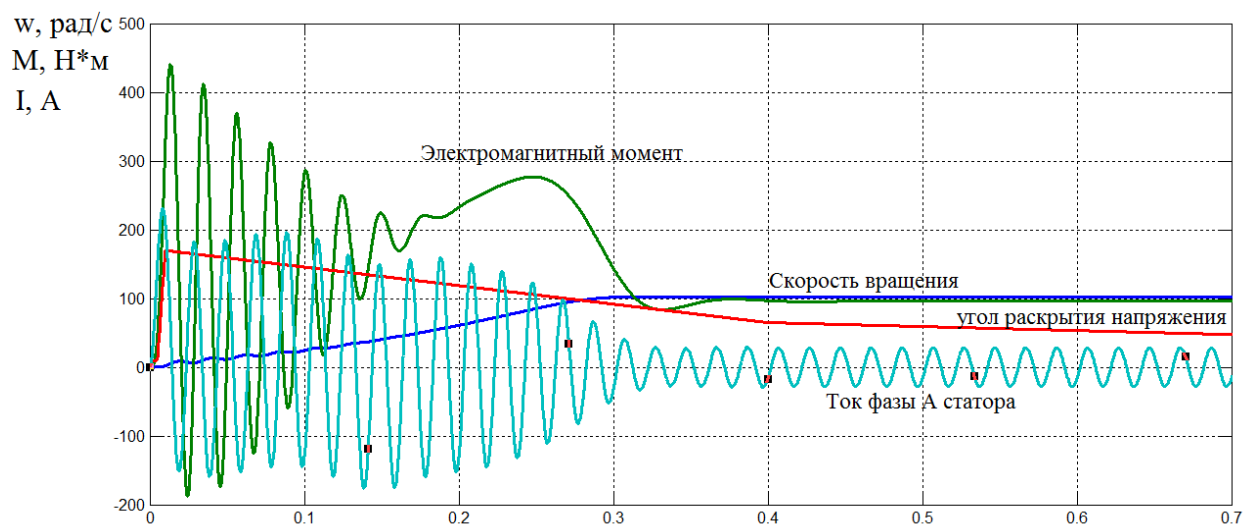


Рисунок 17 – Прямой пуск двигателя

На рисунке 18 показан график плавного пуска при линейном задатчике интенсивности с временем раскрытия напряжения 3 секунды.

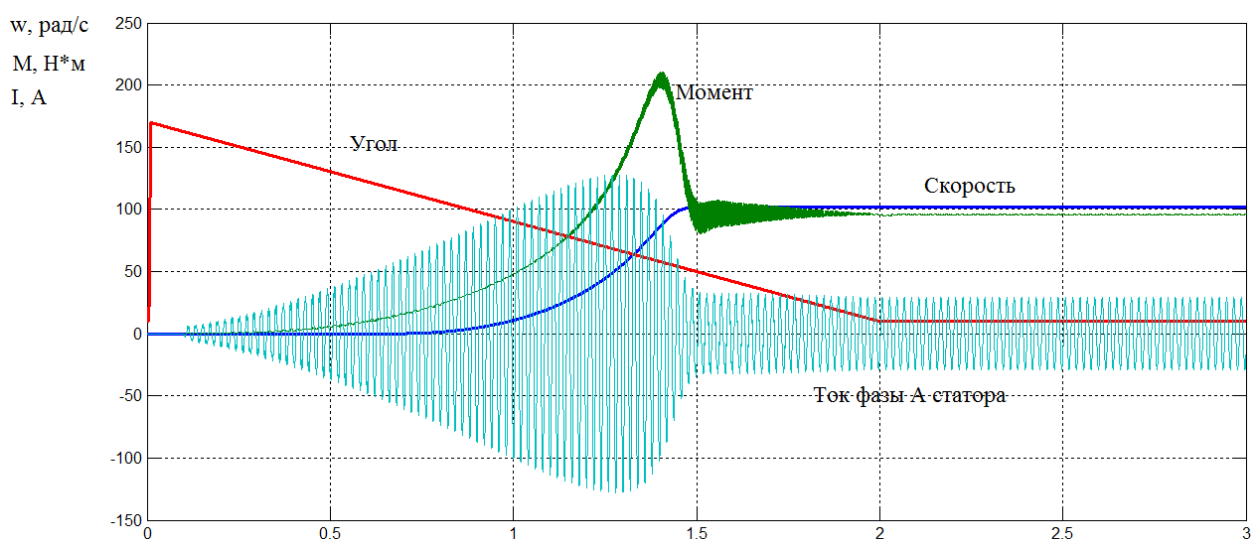


Рисунок 18 – Плавный пуск при линейном задатчике интенсивности с временем раскрытия напряжения 3 секунды

На рисунке 19 показан график плавного пуска при S-образном задатчике интенсивности с временем раскрытия напряжения 2 секунды.

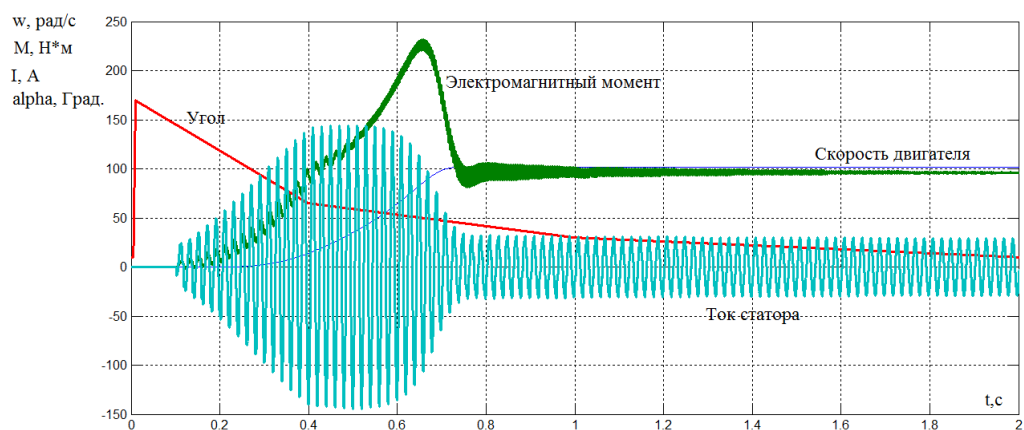


Рисунок 19 – Плавный пуск при S-образном задатчике интенсивности с временем раскрытия напряжения 2 секунды

На рисунке 20 показан график плавного пуска при линейном задатчике интенсивности с временем раскрытия напряжения 3 секунды.

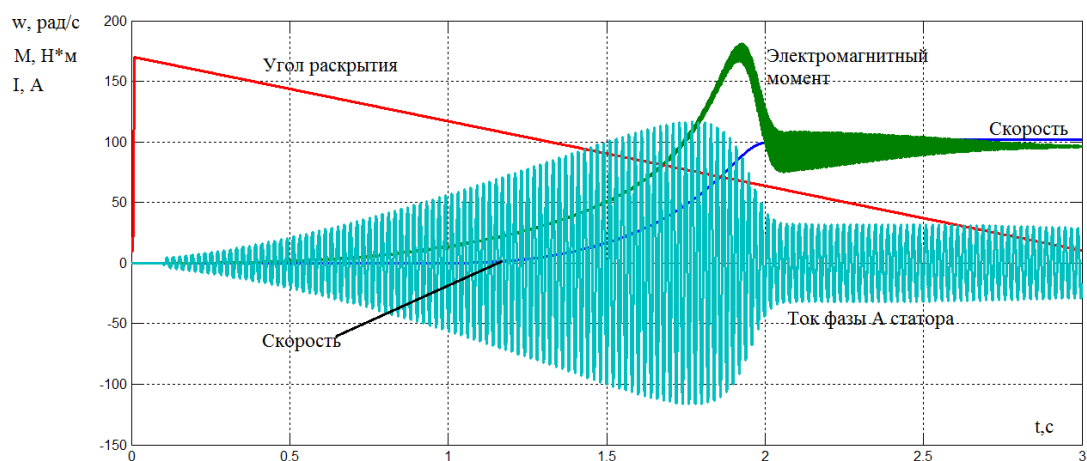


Рисунок 20 – Плавный пуск при линейном задатчике интенсивности с временем раскрытия напряжения 3 секунды

На рисунке 21 показан график плавного пуска для экспоненциального задатчика интенсивности с временем раскрытия напряжения 3 секунды.

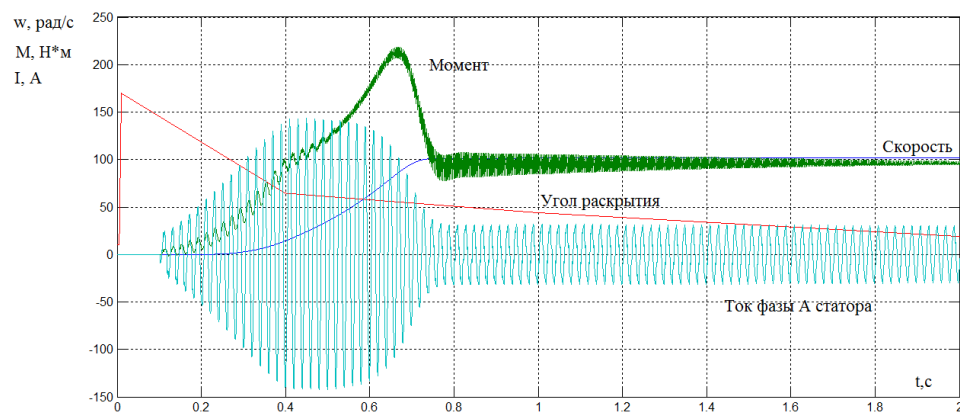


Рисунок 21 – Плавный пуск для экспоненциального задатчика интенсивности с временем раскрытия напряжения 3 секунды

Из графиков видно, что во время плавного пуска уменьшились колебания момента двигателя, в 4 раза превышающие его номинальный, уменьшился пусковой ток практически в 2 раза.

Во время постепенного открытия тириستоров потребляется энергия, следовательно, необходимо производить более быстрое изменение угла. Также видно, что фазный ток медленно нарастает, есть возможность увеличить скорость нарастания сигнала путем изменения скорости нарастания угла в начальный момент времени.

Когда динамический момент становится больше момента нагрузки, двигатель начинает движение. До этого момента двигатель не вращается.

Максимальное значение момента во время переходного процесса составляет при плавном пуске от линейного задатчика составляет 180,8 Н*м, от S-образного 225 Н*м. Однако, с линейным задатчиком время раскрытия напряжения составляет 3 секунды, а с S-образным 2.

Когда применяется линейный задатчик, то уменьшение тока происходит сильнее, чем при применении S-образного. Однако, с S-образным задатчиком электропривод разгоняется быстрее.

Однако из графиков видно, что ток все равно большой для двигателя. Это связано с тем, что у двигателя вентиляторный характер нагрузки, который зависит от скорости и влияет на потребляемый ток двигателя. При

плавном пуске на холостом ходу ток двигателя не превышает пусковой ток двигателя не превышает 2 номинальных.

3.10 Определить потери мощности в двигателе при его пуске. Определить оптимальное время пуска асинхронного двигателя исходя из минимума потерь при пуске. Произвести анализ полученных результатов теоретических расчетов

Для учёта потребляемой двигателем мощности используем блок расчёта[10].

Механическая мощность на валу двигателя:

$$P_{\text{мех}} = M \cdot \omega$$

где M и ω - момент и угловая скорость двигателя.

Полная мощность, потребляемая из сети:

$$P_s = \frac{3}{2} (U_{sx} \cdot I_{sx} + U_{sy} \cdot I_{sy}),$$

где $I_{sx}, I_{sy}, U_{sx}, U_{sy}$ - проекции векторов тока и напряжения статора во вращающейся системе координат.

Баланс мощностей без учёта потерь в стали:

$$P_s = P_{\text{мех}} + \Delta P_{s\text{Эл}} + \Delta P_{r\text{Эл}}$$

Общие потери из баланса мощностей:

$$\Delta P = P_s - P_{\text{мех}}$$

Потери в статорных цепях:

$$\Delta P_{s\text{Эл}} = R_s \cdot I_{sx}^2 + R_s \cdot I_{sy}^2$$

где R_s - сопротивление статорных цепей.

Потери в роторных цепях:

$$\Delta P_{r\text{Эл}} = \Delta P - \Delta P_{s\text{Эл}}$$

Энергия потребляемая из сети:

$$W_s = \int_0^{T_{\text{ц}}} P_s dt$$

где $T_{\text{ц}}$ - время цикла работы производственного механизма.

Энергия потерь:

$$\Delta W = \int_0^{T_{\text{ц}}} (P_s - P_{\text{мех}}) dt$$

Цикловой КПД как отношение механической энергии к энергии, потребляемой из сети за цикл работы:

$$\eta_{\text{ц}} = \frac{W_{\text{мех}}}{W_{\text{э}}} = \frac{\int_0^{T_{\text{ц}}} P_{\text{мех}} dt}{\int_0^{T_{\text{ц}}} P_s dt}.$$

Таблица 5 – Сравнение потребляемых мощностей задатчиков угла открытия тиристоров

ЗИ	$P_{\text{мех}}$	P_s	$\Delta P_{s\text{Эл}}$	$\Delta P_{r\text{Эл}}$	W_s	ΔW	$\eta_{\text{ц}}$
Линейный, 2 секунды	$1,786 \cdot 10^4$	10420	3369	5980	$2,721 \cdot 10^4$	9349	65,5
Нелинейный, 2 секунды	$2,486 \cdot 10^4$	10420	3173	5567	$3,36 \cdot 10^4$	8741	76

Из таблицы 5 видно, что при нелинейном задатчике интенсивности уменьшились потери в стали статора и ротора. Поввысился КПД работы. Однако, увеличились механические потери и потребляемая мощность из сети, это связано с тем, что нелинейный задатчик интенсивности меньше ограничивал ток во время пуска в связи с тем, что темп нарастания тока был больше. Однако затяжной пуск также нежелателен для электропривода. Следовательно, можно сделать вывод о том, что нелинейный задатчик интенсивности с экспоненциальным законом изменения угла задания открытия тиристоров лучше, чем линейный. Поэтому самым оптимальным временем пуска будет 2 секунды с нелинейным задатчиком.

3.11 Синтез параметров регулятора скорости в замкнутой системе «Тиристорный регулятор напряжения-асинхронный двигатель» для различных задающих напряжений

Линеаризованная схема системы ТРН-АД показана на рисунке 26.

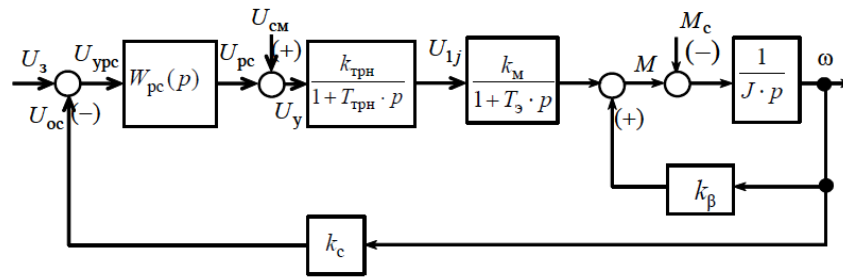


Рисунок 22 – Линеаризованная схема системы ТРН-АД

Где

$W_{рс}(p)$ – передаточная функция регулятора скорости;

$k_c = k_{дс} \cdot k_{ос}$ – коэффициент обратной связи по скорости, В·с/рад;

$k_{дс}$ – коэффициент передачи датчика скорости, В·с/рад;

$k_{ос}$ – коэффициент согласования, о.е.;

$k_{трн} = k_n \cdot k_I$;

$T_{трн}$ – коэффициент передачи и постоянная времени тиристорного регулятора напряжения;

J_{Σ} – момент инерции электропривода.

В качестве расчетного значения коэффициента чувствительности по моменту k_M принимаем его максимальное значение $k_M = 2 \cdot M_{кн}$, при котором условия устойчивости контура регулирования скорости наилучшие. Примем $k_{\beta} = 0$, то есть механическая характеристика асинхронного двигателя в зоне регулирования скорости принимается абсолютно мягкой. Это допущение может быть приемлемым для синтеза параметров регулятора скорости, так как основной диапазон регулирования скорости расположен в зоне неустойчивых участков механических характеристик двигателя. Однако исследование переходных процессов необходимо производить с учетом максимального положительного значения β , при котором условия устойчивости системы также наилучшие. [14]

Передаточная функция разомкнутой системы

$$W_{кс}(p) = W_{рс}(p) \cdot \frac{k_{трн}}{1 + T_{трн} \cdot p} \cdot \frac{k_M}{1 + T_{э} \cdot p} \cdot \frac{1}{J_{\Sigma} \cdot p} \cdot k_c.$$

Для нахождения коэффициента жесткости используем следующую формулу:

$$k_{\beta}(\omega) := \frac{d}{d\omega} \left[\frac{3 \cdot (U_{1H})^2 \cdot R'_2}{(\omega_0 - \omega) \cdot \left[\left(R_1 + \frac{R'_2}{\frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}} \right)^2 + X_{KH}^2 \right]} \right]$$

График зависимости коэффициента жесткости от скорости показан на рисунке 23.

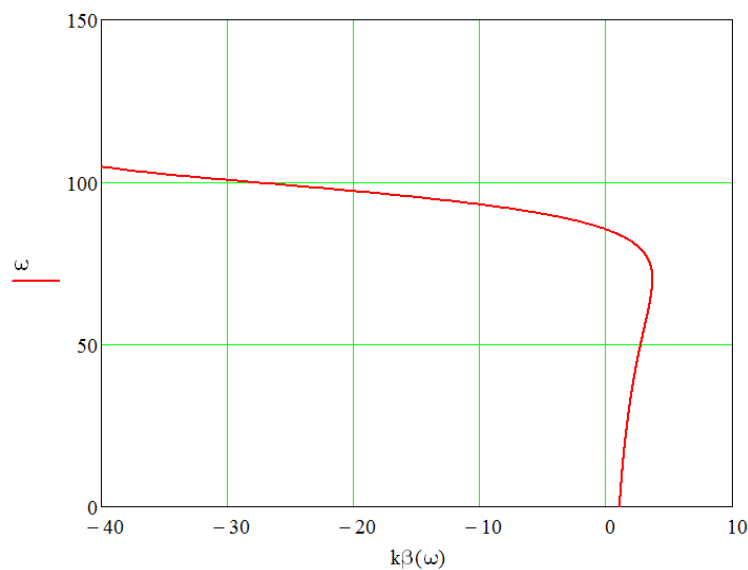


Рисунок 23 – Зависимость коэффициента жесткости от скорости

Максимальное значение коэффициента в диапазоне от нуля до скорости идеального ХХ равно $3,69 \frac{\text{Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с}}{\text{рад}}$, минимальное $-39,947 \frac{\text{Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с}}{\text{рад}}$

Жесткость характеристики на устойчивом участке:

$$k_{\beta 1} := \frac{-1}{s_H} = -33.333$$

Жесткость двигателя в относительных единицах на неустойчивом участке механической характеристики:

$$k_{\beta*} = \frac{k_{\max} - k_{\Pi}}{(1 - s_K)},$$

$$k\beta_{11} := \frac{2.9 - 2.5}{1 - s_k} = 0.494$$

Аналитическое выражение для коэффициента чувствительности при номинальном напряжении:

$$k_M = \frac{dM}{dU_*} = \frac{4 \cdot M_{\text{кн}} \cdot \omega_0 \cdot s_k \cdot (\omega_0 - \omega) \cdot U_*}{(\omega_0 - \omega)^2 + \omega_0^2 \cdot s_k^2}.$$

На рисунке 24 показана зависимость коэффициента чувствительности по моменту:

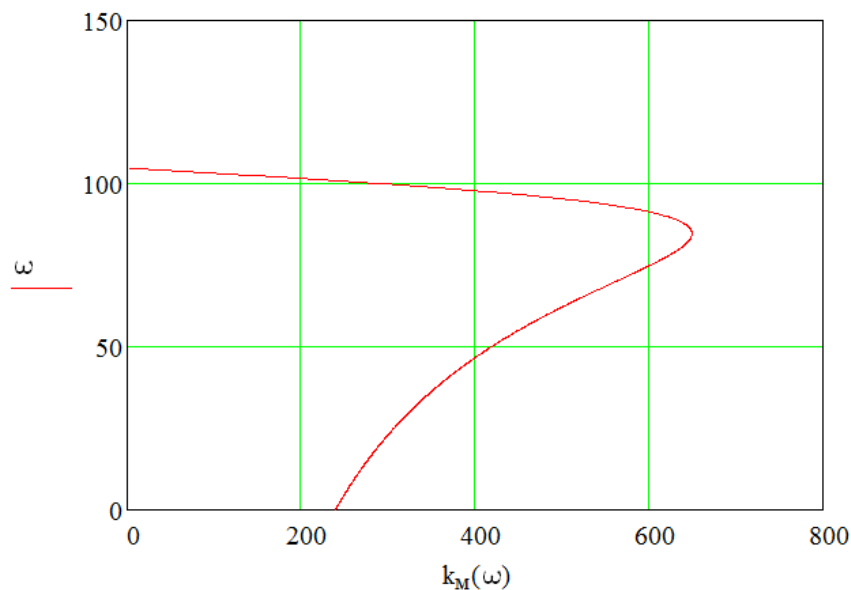


Рисунок 24 – Зависимость коэффициента чувствительности по моменту

Коэффициент чувствительности по моменту:

$$k_{M \text{ max}} = 2 \cdot M_{\text{кн}} \cdot 1 = 2 \cdot 324,693 \cdot 1 = 649,386 \text{ Н} \cdot \text{м} \cdot \text{В}^{-1}.$$

В относительных единицах:

$$k_{M \text{ max}*} = 2 \cdot k_{\text{max}} = 2 \cdot 2,9 = 5,8 \text{ о. е.}$$

Найденные значения жесткости $k\beta_{\text{max}*}$ и коэффициента чувствительности по моменту $k_{M \text{ max}*}$ будем использовать при синтезе параметров регуляторов асинхронного электропривода с обратной связью по скорости.

Напряжение насыщения регулятора:

$$U_{\text{pc max}*} = 1,0 \text{ о. е.}$$

Напряжение насыщения сумматора:

$$U_{y \max*} = 1,0 \text{ о. е.}$$

Тиристорный регулятор напряжения принимаем апериодическим звеном с постоянной времени:

$$T_{\text{трн}} = \frac{1}{2 \cdot m \cdot f_1} = \frac{1}{2 \cdot 6 \cdot 50} = 0,00167 \text{ с,}$$

где m – число управляемых полупериодов напряжения за период напряжения питающей сети;

f_1 – частота питающей сети.

Постоянная времени тиристорного регулятора напряжения в относительных единицах:

$$T_{\text{трн}} = T_{\text{трн}} \cdot \omega_6 = 0,00167 \cdot 314,15 = 0,525 \text{ о. е.}$$

Коэффициент передачи тиристорного регулятора напряжения:

$$k_{\text{трн}} = \frac{U_{1\text{н}}}{U_{y \max}} = \frac{220}{10} = 22 \text{ о. е.}$$

Коэффициент обратной связи по скорости:

$$k_{c*} = 1 \text{ о. е.}$$

Расчет базисных единиц:

$$U_6 := \sqrt{2} \cdot U_{1\text{н}} = 311,127$$

$$I_6 := \sqrt{2} \cdot I_{1\text{н}} = 32,479$$

$$P_6 := \frac{3}{2} \cdot U_6 \cdot I_6 = 1,516 \times 10^4$$

$$M_6 := \frac{P_6 \cdot p}{\omega_6} = 144,75$$

Электромагнитная постоянная времени двигателя в относительных единицах:

$$T_{\text{э}*} = T_{\text{э}} \cdot \omega_6 = 0,008154 \cdot 314 = 2,562 \text{ о. е.}$$

Суммарная малая постоянная времени:

$$T_m = T_{\text{трн}} + T_{\text{э}} = 0,00167 + 0,008154 = 0,009821 \text{ сек}$$

Суммарная малая постоянная времени в относительных единицах:

$$T_{m^*} = T_m \cdot \omega_{\bar{o}} = 0,009821 \cdot 314,15 = 3,085 \text{ o.e.}$$

Эквивалентный момент инерции в относительных единицах:

$$H = \frac{J_{\Sigma}}{J_{\bar{o}}} = \frac{J_{\Sigma} \cdot \omega_{\bar{o}}^2}{M_{\bar{o}}} = \frac{0,111 \cdot 4 \cdot 314,15^2}{144,75} = 302,717 \text{ o.e.}$$

Коэффициент передачи регулятора скорости при настройке на модульный оптимум определяется по формуле:

$$k_{pc} = \frac{H}{a_{\mu c} \cdot T_{m^*} \cdot k_{c^*} \cdot k_{mрн} \cdot k_{m^*}} = \frac{302,717}{2 \cdot 3,085 \cdot 1 \cdot 22 \cdot 5,8} = 0,384$$

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ,
РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

**ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ**

Студенту:

Группа	ФИО
5Г4Б	Рустемову Темирлану Рашитовичу

Инженерная школа	ИШЭ	Отделение	Электроэнергетики и электротехники
Уровень образования	Бакалавр	Направление	Электроэнергетика и электротехника
Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:			
1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих		Оклад руководителя - 20800 руб. Оклад инженера - 17000руб.	
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов		30 % премии 20 % надбавки 16% накладные расходы 30% районный коэффициент	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования		27,1% отчисления на социальные нужды	
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:			
1. Оценка коммерческого потенциала,перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения		Анализ конкурентных технических решений SWOT – анализ	
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований		Формирование плана и графика разработки: - определение структуры работ; - определение трудоемкости работ; - разработка графика Ганта. Формирование бюджета затрат на научное исследование: -заработная плата (основная и дополнительная); - отчисления на социальные цели; - накладные расходы.	
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования		Определение эффективности исследования	
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):			
1. График Ганта			

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Калмыкова Е.Ю.	К.Э.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г4Б	Рустемов Темирлан Рашитович		

4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Целью данной работы является определение экономических показателей проектирования электропривода насоса для цемента. Для этого необходимо провести анализ конкурентных технических решений, определить трудоемкость проводимых работ, создать график проведения работ, а также сформировать бюджет затрат.

Анализ конкурентных технических решений

Целью данного раздела является применение оценочной карты для выбора типа исполнения электропривода.

Объектом анализа будет являться электропривод насоса для цемента. Для того, чтобы наиболее точно провести анализ нужно использовать всю информацию, которая доступна о конкурентных разработках.

Для сравнения берутся два типа исполнения электропривода: преобразователь частоты и тиристорный регулятор напряжения. Для сравнения были выбраны следующие технические критерии: энергопотребление, помехоустойчивость, диапазон регулирования скорости, удобство в эксплуатации, надежность и такие экономические критерии как: цена, послегарантийное обслуживание, заявленный срок эксплуатации.

Результаты приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Показатели оценки качества проекта

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		ТРН	ПЧ	$K_{ТРН}$	$K_{ПЧ}$
1	2	3	4	5	6
Технические критерии оценки					
1. Энергопотребление	0,22	7	5	1,54	1,1

Продолжение таблицы 6

1. Помехоустойчивость	0,16	5	4	0,8	0,64
2. Диапазон регулирования скорости	0,25	8	5	2	1,25
3. Удобство в эксплуатации	0,16	5	4	0,8	0,64
4. Надежность	0,19	6	6	1,14	1,14

Существует формула, при помощи которой мы сможем провести анализ конкурентных технических решений:

$$K = \sum B_i \cdot B_i$$

где К –конкурентоспособность научной разработки или конкурента; В_і – вес показателя (в долях единицы); В_і – средневзвешенное значение і-го показателя.

Таблица 7 – Определение коэффициента весомости по методу парного сравнения

Оцениваемые параметры	Оцениваемые параметры					Σ, расчет веса критерия
	А	Б	В	Г	Д	
А	-	1	2	2	2	7/31=0,22
Б	1	-	1	1	2	5/31=0,16
В	2	2	-	2	2	8/31=0,25
Г	1	1	1	-	2	5/31=0,16
Д	1	2	2	1	-	6/31=0,19
ИТОГО:	5	6	6	6	8	31

Пояснения к таблице 7:

А – Энергопотребление;

Б – Помехоустойчивость;

В – Диапазон регулирования скорости;

Г – Удобство в эксплуатации;

Д – Надёжность.

Пример расчета конкурентоспособности:

$$K = 0,15 \times 7 = 1,05$$

Расчет конкурентоспособности по всем техническим критериям оценки:

$$K(\text{ТРН}) = 1,54 + 0,8 + 2 + 0,8 + 1,14 = 6,28$$

$$K(\text{ПЧ}) = 1,1 + 0,64 + 1,25 + 0,64 + 1,14 = 4,77$$

По результатам, приведенным в таблице 1, следует вывод, что лучше применять электропривод на базе тиристорный регулятор напряжения потому, что он лучше по таким критериям как: энергопотребление, диапазон регулирования скорости, удобство в эксплуатации и помехоустойчивость.

SWOT – анализ

Одним из инструментов, позволяющим оценить потенциал проекта, является SWOT – Анализ. SWOT – анализ заключается в выявлении факторов внутренней и внешней среды организации и разделении их на четыре категории: strengths – сильные стороны, weaknesses – слабые стороны, opportunities – возможности, threats – угрозы.

Результаты проведенного анализа сведем в таблицу 8.

Таблица 8 – Матрица решений

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта:	Слабые стороны научно-исследовательского проекта:
	<p>С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии.</p> <p>С2. Повышение производительности труда.</p> <p>С3. Высокий срок эксплуатации.</p> <p>С4. Надежность данной системы по сравнению с другими.</p>	<p>Сл1. Высокая стоимость</p> <p>Сл2. Требуется переквалификация персонала</p> <p>Сл3. Сложности в устранении неполадок</p>

<p>Возможности:</p> <p>В1. Повышение спроса на дорогостоящие, но надежные и удобные преобразователи частоты</p> <p>В2. Увеличение спроса на данный тип насосной установки</p> <p>В3. Увеличение функциональной мощности</p>	<p>1. Высокая стоимость ПЧ может склонить инвесторов и потребителей в сторону использования – ТРН</p> <p>2. Увеличение вероятности безотказной работы за счет установки дополнительных защитных устройств</p> <p>3. Возможность работы на неименной частоте за счет использования фазного регулирования</p>	<p>1. Упрощенная регулировка скорости вращения электропривода за счет преобразователя частоты</p> <p>2. Для эффективного использования возможностей ТРН потребуется затратить время на переквалификацию рабочего персонала</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Нестабильность российской валюты</p> <p>У2. Повышение конкурентоспособности зарубежных аналогов за счет внедрения более современного оборудования</p> <p>У3. Нежелание руководящего состава энергообъектов переводить устаревшее оборудование на более современное</p> <p>У4. Недостатки ТРН могут отпугнуть некоторых потребителей</p>	<p>1. Возможности современного ТРН позволяют привлечь иностранных инвесторов, что нивелирует нестабильность валюты</p> <p>2. Высокая надежность, удобность ТРН и плавность регулирования скорости по температуре будут основными причинами для перехода с ПЧ на ТРН</p>	<p>1. Ввиду низкой зарплаты работников из-за нестабильности валюты персонал может отказаться от переквалификации</p> <p>2. Устаревшие ТРН требуют затрат на обслуживание и подключение дополнительных релейных защит, что может отрицательно сказаться на инвестициях в эту технологию</p>

После проведения SWOT-анализа следует вывод, что успех данного проекта в основном зависит от того на сколько можно заинтересовать потребителей в переходе на более современное оборудование, и выйдя на рынок, создать конкуренцию зарубежным аналогам, а также отбить желание покупать дорогостоящее оборудование.

Планирование научно – исследовательских работ

Планирование работ является важным аспектом при проектировании. Он позволяет выполнять проект точно в срок, а также позволяет довольно точно рассчитать заработную плату работников занимающихся проектированием. Над данным проектом работает команда из двух человек – руководитель проекта и проектировщик. Каждый из них выполняет свои обязанности, но некоторую часть работы они выполняют вместе.

Этапы работ представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Этапы работ

№	Описание работы	Исполнитель
1	Разработка технического задания	Руководитель проекта
2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер-проектировщик
3	Подбор направления исследования	Руководитель проекта и инженер-проектировщик
4	Календарное планирование по теме	Руководитель проекта
5	Расчет параметров электродвигателя	Инженер-проектировщик
6	Выбор электродвигателя и ТРН	Инженер-проектировщик
7	Расчет параметров схемы замещения	Инженер-проектировщик
8	Моделирование	Инженер-проектировщик
9	Контроль качества выполнения проекта и консультирование исполнителя	Руководитель проекта
10	Разработка силовой схемы регулируемого электропривода и выбор аппаратуры управления и защиты	Инженер-проектировщик
11	Оценка результатов	Руководитель проекта
12	Обработка документации	Инженер-проектировщик
13	Составление отчета по проекту	Инженер-проектировщик

В ходе данного раздела работы был составлен перечень работ, необходимый для успешной реализации проекта. Как можно заметить, НИ будет содержать 13 основных этапов работ, разделенных между двумя исполнителями – инженером-проектировщиком и руководителем проекта. Данное планирование позволяет эффективно распределить трудовые ресурсы и практически полностью избежать растрат времени на согласование работ.

Определение трудоемкости выполнения работ

Трудоемкость выполнения работ оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, потому что зависит от многих факторов, которые очень трудно учесть. Для того, чтобы определить ожидаемое значение трудоемкости $t_{\text{ож}i}$ воспользуемся формулой [?]:

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3t_{\text{min}i} + 2t_{\text{max}i}}{5}$$

где $t_{\text{ож}i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дней;

$t_{\text{min}i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дней.;

$t_{\text{max}i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дней.

После того, как были определены ожидаемые трудоемкости работ, необходимо определить продолжительность каждой работы в днях T_p , за счет которой можно учесть параллельность выполнения работ одновременно несколькими исполнителями. Также сможем точно рассчитать заработную плату, так как удельный вес заработной платы в общей смете стоимости научных исследований составляет около 65%.

$$T_{pi} = \frac{t_{\text{ож}i}}{Ч_i}$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{\text{ож}i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дней;

Ч_i – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, человек.

Пример расчета трудоемкости и продолжительности работы №2:

$$t_{\text{ожі}} = \frac{3t_{\text{min}i} + 2t_{\text{max}i}}{5} = \frac{3 \cdot 3 + 2 \cdot 6}{5} = 4,2;$$

$$T_{\text{pi}} = \frac{t_{\text{ожі}}}{\text{Ч}_i} = \frac{4,2}{1} = 4,2 \approx 4.$$

Данные по продолжительности работ сведены в таблицу 10.

Таблица 10 - Временные показатели проведения научного исследования

Номер работы	Трудоемкость работ						Длительность работ в рабочих днях T_{pi}		Длительность работ в календарных днях T_{ki}	
	t_{\min} , чел-дни		t_{\max} , чел-дни		$t_{ожі}$, чел-дни					
	Руковод.	Инж.-проект.	Руковод.	Инж.-проект.	Руковод.	Инж.-проект.	Руковод.	Инж.-проект.	Руковод.	Инж.-проект.
1	1	-	2	-	1.4	-	1	-	1	-
2	-	3	-	6	-	4,2	-	4	-	6
3	2	2	3	3	2,4	2,4	1	1	1	1
4	1	-	3	-	1,8	-	2	-	3	-
5	-	2	-	5	-	3,2	-	3	-	4
6	-	5	-	7	-	5,8	-	6	-	9
7	-	5	-	8	-	6,2	-	6	-	9
8	-	11	-	17	-	13,4	-	13	-	19
9	4	-	7	-	5,2	-	5	-	7	-
10	-	5		8	-	6,2	-	6	-	9
11	1	-	3	-	1,8	-	2	-	3	-
12	-	5	-	7	-	5,8	-	6	-	9
13	-	6	-	9	-	7,2	-	7	-	10

Таблица 11 – Итоги планирования работ

Общее количество рабочих дней для выполнения работы	62
Общее количество рабочих дней, в течение которых работал инженер-проектировщик	52
Общее количество рабочих дней, в течение которых работал руководитель проекта	11

В данном пункте был рассчитан и построен календарный график выполнения работ. Судя по графику, следует вывод, что проектирование нужно начать 8 февраля и закончить 8 мая 2018 года.

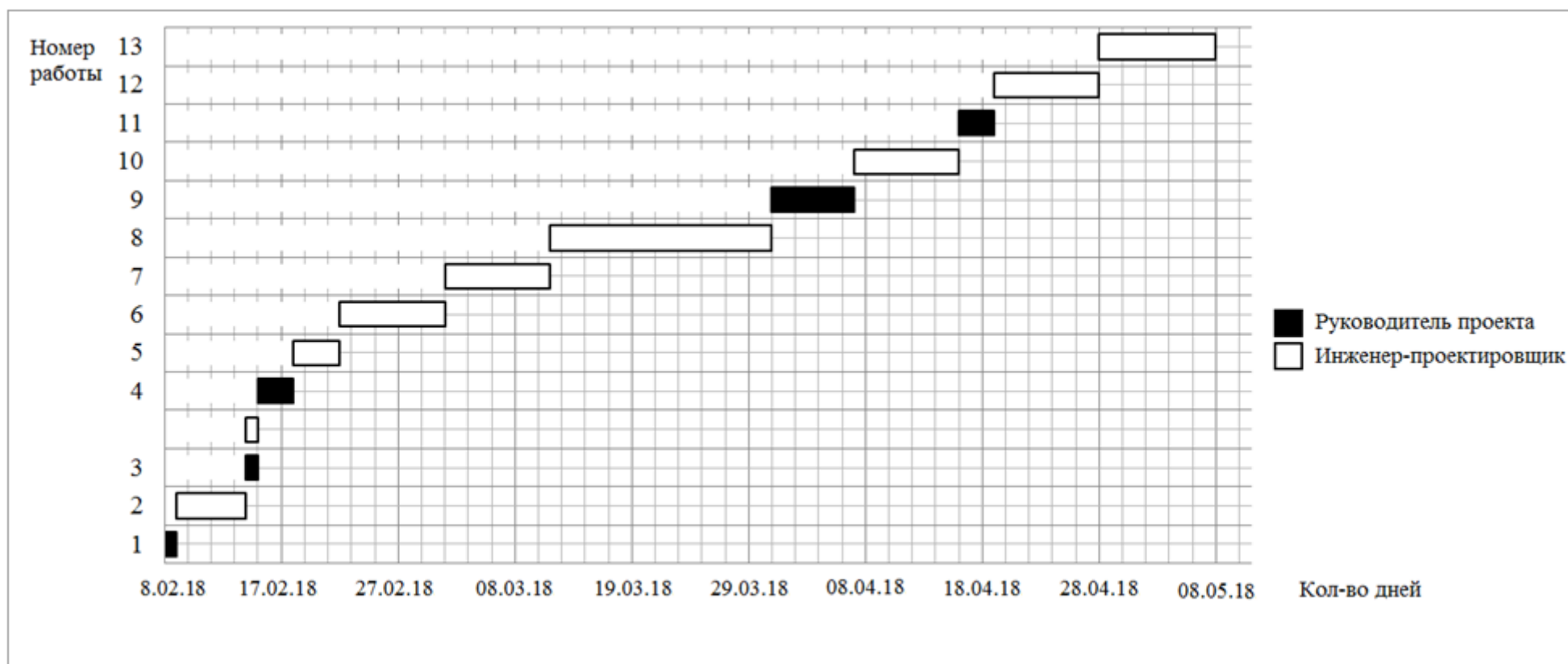


Рисунок 28 - График Ганта

Бюджет научно – технического исследования (НТИ)

Для того, чтобы запланировать бюджет НТИ необходимо рассмотреть все виды расходов, которые связаны с его выполнением. При формировании бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- 1) Амортизация;
- 2) Заработная плата;
- 3) Отчисления во внебюджетные фонды;
- 4) Накладные расходы.

Амортизация

В данном пункте будет рассчитана амортизация ноутбука, необходимого в работе над проектом.

Пусть срок эксплуатации ноутбука 3 года. Отсюда следует, что норма амортизации за месяц равна:

$$K = \frac{1}{n} \cdot 100\%$$

$$K = \frac{1}{3} \cdot 100\% = 33\%$$

где n – срок полезного использования в годах.

Найдем амортизацию:

$$A = \frac{K \cdot I}{12 \cdot 30} \cdot m \text{ р}$$

$$A = \frac{0,33 \cdot 40000}{12 \cdot 30} \cdot 88 = 3226,7 \text{ руб.}$$

где I – итоговая сумма в тыс. руб.;

m – время использования в днях.

Основная заработная плата исполнителей

В этом разделе нам необходимо рассчитать основную заработную плату руководителя и проектировщика. Зарплата работников в первую очередь зависит от трудоемкости выполняемых работ, а также системы

окладов и тарифных ставок. Также в зарплату включается премия, которая выплачивается ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20-30% от тарифа или оклада. В нашем же случае премиальный коэффициент составляет 30% от зарплаты.

Статья включает основную заработную плату работников и дополнительную зарплату.

$$Z_{\text{зн}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}$$

где $Z_{\text{осн}}$ - основная зарплата;

$Z_{\text{доп}}$ - дополнительная зарплата (15% от $Z_{\text{осн}}$).

По формуле рассчитаем основную зарплату руководителя проекта:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p$$

где T_p - продолжительность работ, выполняемых научно – техническим работником, раб. дн.

$Z_{\text{дн}}$ - среднедневная заработная плата работника, руб.

Рассчитаем среднедневную заработную плату по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_M \cdot M}{F_{\text{д}}}$$

Для 5 – дневной недели (инженер-проектировщик):

$$Z_{\text{дн}} = \frac{33150 \cdot 11,2}{213} = 1743,1 \text{ руб.},$$

Для 6 – дневной недели (руководитель проекта):

$$Z_{\text{дн}} = \frac{40560 \cdot 10,4}{247} = 1707,8 \text{ руб.}$$

где Z_M - месячный должностной оклад работника, руб.:

$$Z_M = Z_{\text{мс}} \cdot (1 + k_{\text{нп}} + k_{\text{д}}) \cdot k_p$$

Для руководителя проекта:

$$Z_M = 20800 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 40560 \text{ руб.}$$

Для инженера-проектировщика:

$$Z_M = 17000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 33150 \text{ руб.}$$

где $З_{мс}$ - зарплата по тарифной ставке, руб.;

k_{np} - премиальный коэффициент, равный 0,3;

k_{∂} - коэффициент доплат и надбавок составляет 0,2;

k_p - районный коэффициент, равный 1,3 (для города Томска);

M – количество месяцев работы без отпуска в течении года.

F_{∂} - действительный годовой фонд рабочего времени научно – технического персонала, раб. дн.

Расчет основной заработной платы сводится в таблицу 12.

Таблица 12 - Расчет основной заработной платы

Исполнители	$З_{мс}$, руб.	k_{np}	k_{∂}	k_p	$З_M$, руб.	$З_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$З_{осн}$, руб.
Руководитель проекта	20800	0,3	0,2	1,3	40560	1707,8	11	18785,8
Проектировщик	17000	0,3	0,2	1,3	33150	1743,1	52	90641,2
Итого:								109427

Дополнительная заработная плата исполнителей

По формуле находится дополнительная заработная плата:

$$З_{доп} = k_{доп} \cdot З_{осн}$$

Руководитель проекта: $З_{доп} = 0,15 \cdot 18785,8 = 2817,87 \text{ руб.}$,

Проектировщик: $З_{доп} = 0,15 \cdot 90641,2 = 13596,18 \text{ руб.}$,

где $k_{доп}$ - коэффициент дополнительной заработной платы.

Отчисления во внебюджетные фонды

Отчисления во внебюджетные фонды определяются по формуле:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп})$$

Руководитель проекта: $З_{внеб} = 0,271 \cdot (18785,8 + 2817,87) = 5854,6 \text{ руб.}$,

Инженер-проектировщик: $З_{внеб} = 0,271 \cdot (90641,2 + 13596,18) = 28248,33 \text{ руб.}$,

где $k_{внеб}$ - коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

Накладные расходы

Накладные расходы – это прочие затраты организации. По формуле накладные расходы руководителя проекта и инженера-проектировщика:

$$З_{накл} = k_{нр} \cdot (\text{сумма статей } 1 \div 4)$$

$$З_{накл} = 0,16 \cdot (16414,05 + 1191,7 + 34102,93 + 109427) = 25781,7 \text{ руб.},$$

где $k_{нр}$ - коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Формирование бюджета затрат научно – технического исследования

В основу формирования бюджета входит величина НТИ. При заключении договора с заказчиком, этот бюджет затрат проекта должен защищаться научной организацией. Он является нижним пределом затрат на разработку научно – технической продукции.

Таблица 13 – Бюджет затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб	%
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	109427	58,6
Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	16414,05	8,8
Амортизация	3226,7	1,7
Отчисления во внебюджетные фонды	34102,93	18,2
Накладные расходы	25781,7	13,8
Бюджет затрат НТИ	188952,38	100

Сформировав таблицу результатов, делаем вывод, что бюджет затрат НТИ равен 186917,38 руб. Как и упоминалось ранее, основной процент бюджета затрат НТИ составляет основная заработная плата – 58,6%, а самый малый процент занимает амортизация – 1,7%.

Вывод исследования

В результате выполнения задания данного раздела был проведен анализ конкурентных технических решений и был выбран тип исполнения электропривода.

Далее был проведен SWOT – анализ, который помог нам оценить различные факторы и явления, влияющие на проект. С помощью данного анализа были выявлены положительные и отрицательные стороны и выбран тип исполнения нашего проекта;

Был составлен план – график выполнения работ каждого из участников: руководителя проекта и инженера-проектировщика. В итоге получили следующие данные: общее количество дней на выполнение проекта – 62 дня, общее количество дней работы инженера-проектировщика – 52 дня, а количество рабочих дней руководителя проекта – 11 дней;

Рассчитали бюджет НТИ, который необходим для осуществления данного проекта. Он составил 188952,38 руб.;

Реализация электропривода насосной установки является очень актуальной для многих предприятий из-за уменьшения энергозатрат.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5Г4Б	Рустемову Темирлану Рашитовичу

Инженерная школа	ИШЭ	Отделение	Электроэнергетики и электротехники
Уровень образования	Бакалавриат	Направление	Электроэнергетика и электротехника

Инженерная школа	ИШЭ	Отделение	Электроэнергетики и электротехники
Уровень образования	Бакалавриат	Направление	Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:</p> <p>1.1. вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения)</p> <p>1.2. опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы)</p> <p>1.3. негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу)</p> <p>1.4. чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)</p>	<p>Главным объектом исследования – электропривод вентилятора. Необходимо поддержание:</p> <p>1.1. Нормативных метеоусловий, уровней вибрации и шума;</p> <p>1.2. Нормативных мер обеспечения электро- и пожаробезопасности.</p> <p>1.3. Нормативных мер защиты окружающей среды от воздействия предприятия (механического цеха).</p> <p>1.4. Наиболее вероятные ЧС: загорания (пожары), электрический удар, например, при замыкании фазы питания на корпус электрической машины при нарушенном его заземлении.</p>
<p>2. Ознакомление и отбор законодательных и нормативных документов по теме и отбор их.</p>	<p>ГОСТ 12.0.003-74 «ОиВПФ»;</p> <p>ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны»;</p> <p>ГОСТ 12.1.003-83 «Шум. Общие требования безопасности»;</p> <p>ГОСТ 12.1.01290 «Вибрационная безопасность»;</p> <p>ПУЭ, утвержденный министерством энергетики России от 08.07.2002, №204, Глава 1.7.;</p> <p>№123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» от 22.07.2008;</p> <p>ГОСТ Р 50571.3-94 «Электроустановки зданий. Часть 4. Защита от поражения эл. током».</p> <p>Постановление Администрации г. Томска от 11.11.2009 №1110 (с изменениями от 24.12. 2014) «Об организации сбора, вывоза, утилизации, и переработки бытовых и промышленных отходов на территории муниципального образования «Город Томск» ».</p>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</p> <p>1.1. физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</p>	<p>Наиболее значимые вредные факторы:</p> <p>1. Шум</p> <p>2. Вибрации</p> <p>3. Недостаток естественного света</p>
--	---

1.2.действие фактора на организм человека; 1.3.приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); 1.4.предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства)	4. Возможные ненормативные метеоусловия
2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности 2.1.механические опасности (источники, средства защиты); 2.2.термические опасности (источники, средства защиты); 2.3.Опасность электропоражения (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); 2.4.Опасность загораний (пожаров) (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)	Наиболее вероятно воздействие на персонал следующих опасных факторов: 1.Опасность электропоражения; 2.Пожаровзрывоопасность.
3. Охрана окружающей среды: 3.1.анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); 3.2.анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); 3.3.анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);	По п.3.1.:разработать или описать систему обращения с выбросами механического цеха. По п.3.2.: разработать или описать систему обращения со сбросами. По п.3.3. описать систему обращения с твердыми отходами цеха в соответствии с постановлениями Правительства РФ от 03.09.2010 №681 и Администрации г. Томска от 11.11 2009 №1110(с изменениями от 24.12. 2014г.).
4. Защита в чрезвычайных ситуациях: 4.1.перечень возможных ЧС на объекте; 4.2.выбор наиболее типичных ЧС; 4.3.разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;	Одни из наиболее вероятных ЧС: пожары, электропоражения. Разработать мероприятия по предотвращению пожаров, электропоражений и других ЧС и ликвидации их последствий.
Перечень графического и инструктивного материалов:	
Обязательные графические материалы к расчётам по заданию (обязательно для специалистов и магистров).	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Панин Владимир Филиппович	д.т.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г4Б	Рустемов Темирлан Рашитович		

5.СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Введение

Целью разработки настоящего раздела является принятие проектных решений, исключающих несчастные случаи и профессиональные заболевания в производстве, обеспечивающих снижение вредных воздействий на окружающую среду, безопасность в чрезвычайных ситуациях, экономное расходование ресурсов.

Рассмотрение данных вопросов отвечает требованиям международного стандарта ICCSR-26000:2011 к деятельности организаций в области социальной ответственности по тем разделам его модулей, по которым должны быть приняты указанные проектные решения.

Объектом проектирования является асинхронный тиристорный электропривод насоса для цемента

Анализ вредных факторов

Часть технологического процесса исследования и проверки электропривода насосной установки основана на работе с двигателем, который в свою очередь является источником повышенного уровня шума, что является вредным фактором производственной среды [13]. Чтобы уменьшить влияние шума, можно применять различные меры такие как: замена подшипников качения на подшипники-скольжения, проверка и своевременная замена смазочных материалов у подшипников. Но такие меры слишком затратные и трудоемкие. Поэтому также возможно использовать различные ограждения из звукопоглощающих материалов и отдельных частей установки для снижения уровня шума.

Опасность может представлять повышенный уровень вибрации, который возникает во время работы исследуемого двигателя при нагрузках выше номинальной. Для избегания влияния вибраций на человека необходимо провести мероприятия на основании [14], а именно, жесткая фиксация рабочих механизмов на своих местах с использованием виброгасящих материалов.

Следующий вредный фактор – недостаток естественного света [1], при работе в условиях недостаточной освещённости, связанным с временем суток и погодными условиями. Пониженная контрастность в взаимодействии с плохой освещенностью является наиболее опасным для зрительных органов работника и может привести к травмам, при работе с движущимися частями установки [1]. Простым решением для снижения риска является покраска отдельных частей установки в различные отчетливо видные цвета.

Шум

Шум — один из наиболее распространенных неблагоприятных факторов производственной среды. Основные производственные процессы, сопровождающиеся шумом — это работа насосов, вентиляторов и др. Говоря о действии шума на организм, следует иметь в виду, что он оказывает как местное, так и общее воздействие. При этом учащается пульс, дыхание,

повышается артериальное давление, изменяются двигательная и секреторная функции желудка и других органов. Неблагоприятно отражается шум на нервной системе, вызывая головные боли, бессонницу, ослабление внимания, замедление психических реакций, что в конечном счете приводит к понижению работоспособности.

Для защиты от шума по СанПиН 2.2.4/2.1.8.562 – 96 и вибрации по СанПиН 2.2.4/2.1.8.566 – 96 предусматриваются:

- обеспечение персонала индивидуальными средствами защиты;
- установка звукоизолирующих кабин;
- звукоизолирующие кожухи и экраны;
- виброизолирующие материалы под оборудование (пружины, резины и другие прокладочные материалы).

Предельно допустимые уровни шума представлены в таблице 14.

Таблица 14

Рабочее место	Уровни звукового давления, дБ									По шкале
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Цех	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80
Щит управления	96	83	74	68	63	60	57	55	54	65

Средства индивидуальной защиты (СИЗ) применяются в том случае, если другими способами обеспечить допустимый уровень шума на рабочем месте не удастся. Принцип действия СИЗ – защитить наиболее чувствительный канал воздействия шума на организм человека – ухо. Применение СИЗ позволяет предупредить расстройство не только органов слуха, но и нервной системы от действия чрезмерного раздражителя. Наиболее эффективны СИЗ, как правило, в области высоких частот. СИЗ включают в себя противошумные вкладыши (беруши), наушники, шлемы и каски, специальные костюмы.

Вибрация

Одним из наиболее опасных для человеческого организма производственных факторов является вибрация. Под вибрацией понимается колебание твёрдых тел. Большое негативное воздействие этот фактор оказывает на отделы центральной нервной системы, желудочно-кишечного тракта и вестибулярного аппарата человека. Длительное воздействие вибрации на организм приводит к развитию профессиональных заболеваний, основным из которых является – виброболезнь, сопровождающаяся головокружением, онемением нижних конечностей и потерей ориентации в пространстве.

Большую опасность для организма представляют вибрации частотой 6-9 Гц, так как эти частоты наиболее близки к собственным частотам внутренних органов человека. Санитарные нормы вибрации представлены в таблице 15.

Таблица 15 – Санитарные нормы вибрации

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц	*Предельно допустимые значения по осям X_L, Y_L, Z_L			
	виброускорения		виброскорости	
	м/с	дБ	м/с·10	дБ
8	1,4	123	2,8	115
16	1,4	123	1,4	109
31,5	2,8	129	1,4	109
63	5,6	135	1,4	109
125	11,0	141	1,4	109
250	22,0	147	1,4	109
500	45,0	153	1,4	109
1000	89,0	159	1,4	109
Корректированные и эквивалентные значения и их уровни	2,0	126	2,0	112
* Работа в условиях воздействия вибрации с уровнями, превышающими настоящие санитарные нормы более чем на 12 дБ (в 4 раза) по интегральной оценке или в какой-либо октавной полосе, не допускается.				

Для виброзащиты применяются средства индивидуальной защиты для рук, ног и тела оператора. В качестве средства защиты для рук применяются рукавицы и перчатки, вкладыши и прокладки по ГОСТ 12.4.002 "Система стандартов безопасности труда. Средства защиты рук от вибрации. Технические требования и методы испытаний".

Виброзащитная обувь изготавливается в виде сапог, полусапог, в конструкции низа которых используется упруго-демпфирующий материал (ГОСТ 12.4.024 "Система стандартов безопасности труда. Обувь специальная виброзащитная. Общие технические требования").

Недостаток естественного света

Согласно научным исследованиям, отсутствие или недостаток естественного освещения на рабочем месте может вызвать ухудшение самочувствия, привести к потере сна и ослаблению здоровья. Специалисты полагают, что причина отрицательного воздействия может заключаться в изменении циркадных ритмов из-за недостатка естественного света. Поэтому следует уделять большее внимание достаточному дневному освещению для укрепления здоровья и морального состояния работников.

На рабочих местах, где трудовая деятельность ведется в условиях отсутствия естественного освещения, необходимо проводить мероприятия, направленные на уменьшение уровня вредности условий труда. В их число входят следующие:

- улучшение условий путем использования искусственного освещения;
- защита временем, то есть сокращение продолжительности пребывания работников в помещении без естественного освещения;
- профилактическое ультрафиолетовое облучение работников. В этом случае источники ультрафиолетового излучения устанавливают рядом с обычными осветительными лампами, за счет чего достигается обогащение обычного искусственного освещения ультрафиолетовым излучением.

При недостатке естественного освещения в помещениях также возможно принятие следующих мер:

- анализ степени загрязненности стекол в светопроемах, их очистка и дальнейшие контрольные измерения коэффициента естественной освещенности, который показывает, какая часть наружного освещения попадает на рабочие места производственного помещения;
- при наличии в помещении зон с недостаточным и достаточным уровнем естественного освещения изменение размещения рабочих мест с их переносом в зону с достаточным уровнем естественного освещения;
- косметический ремонт помещения с применением светлых отделочных материалов.

В зависимости от напряжения зрительного аппарата при выполнении работы освещенность на предприятиях делят на восемь разрядов - от наивысшей точности до общего наблюдения за ходом производственного процесса.

В таблице 16 приведены нормируемые значения КЕО.

Таблица 16

Характеристика выполняемой зрительной работы	Наименьший размер объекта различения, мм	Разряд зрительной работы	Значение КЕО в при естественном освещении, %	
			верхнем и комбинированном	боковом
Наивысшей точности	Менее 0,15	I	10	3,5
Очень высокой точности	0,15 ... 0,30	II	7	2,5
Высокой точности	0,3 ... 0,5	III	5	2,0
Средней точности	от 0,5 до 1,0	IV	4	1,5
Малой точности	от 1 до 5	V	3	1,0
«Грубая работа»	Более 5	VI	2	0,5
Работа с самосветящимися материалами и изделиями в горячих цехах		VII		

Продолжение таблицы 16

Общие наблюдения за ходом производственного процесса:		VIII		
постоянное наблюдение	-	VIIIa	1	0,3
периодическое при постоянном пребывании людей в помещении		VIIIб	0,7	0,2
периодическое при периодическом пребывании людей в помещении		VIIIв	0,5	0,1

К числу источников света массового применения относятся лампы накаливания, лампы ДРЛ, люминесцентные лампы.

Лампы накаливания применяются там, где проводятся грубые работы, или осуществляется общий надзор за эксплуатацией оборудования. Кроме того, предпочтение лампам накаливания отдается во взрыво - и пожароопасных помещениях, в сырых помещениях, в помещениях с химически активной средой.

Характеристика выполняемой зрительной работы для проекта относится к классу средней точности, где наименьший объект различия от (0,5 до 1,0 мм) в связи с этим значение КЕО при естественном освещении 1,5 %.

Микроклимат

Помещение цеха характеризуется:

- наличием большого количества металлического оборудования;
- повышенной температурой.

Оптимальные и допустимые нормы микроклимата в рабочей зоне производственных помещений представлены в таблице 17.

Таблица 17

Сезон года	Категория работ	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
		По ГОСТ 12.1.005 – 88	По ГОСТ 12.1.005 – 88	По ГОСТ 12.1.005 – 88
Холодный	Средней тяжести	17 – 19	40 – 60	0,3
Тёплый со значительным избытком тепла	Средней тяжести	20 – 22	40 – 60	0,2 – 0,5

Для обеспечения нормального микроклимата предусматривается, в соответствии с Сан ПиН 2.2.4.548 – 96(1), следующее:

- вентиляция приточно-вытяжная по СНиП 2.04.05 – 91* (28.11.91) установка центробежных вентиляторов. Кратность воздухообмена 1;
- установка систем воздушного отопления, совмещённых с вентиляцией;

Предусмотренные мероприятия обеспечивают параметры микроклимата в соответствии с нормами, представленными в таблице 1.

В соответствии с Сан ПиН 2.2.4.548 – 96(1) значения температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха устанавливаются, для рабочей зоны производственных помещений, в зависимости от категории тяжести выполняемой работы, величины явного избытка тепла выделяемого в помещении и периода года.

Анализ опасных факторов

Проведем анализ опасных производственных факторов в вышеописанном технологическом процессе исследования и проверки двухзонного электропривода постоянного тока. Основным опасным

фактором является возможность поражения человека электрическим током, так как работа производится с рабочими электрическими установками, в частности двигателями. Для снижения уровня опасности проводится заземление электроустановок и полное или частичное ограждение токоведущих частей. Данные операции должны производиться на основании [10 - 13].

Следующая опасность заключается в том, что работа проводится с рабочим двигателем, соответственно вал двигателя находится в движении, что может привести к механическим повреждениям частей тела человека. Однако, благодаря конструкции двигателей, опасность представляют лишь выходные концы валов и места соединений. Для снижения риска устанавливают кожухи или защитные экраны в местах открытых движущихся механических частей.

Электропоражение

Электропоражение персонала, работающего с электроустановками, является опасным для жизни человека и наступает при соприкосновении его с сетью не менее чем в двух точках. При разработке коллективных и индивидуальных средств защиты от электропоражения необходимо, согласно правилам устройства электроустановок (ПУЭ), рассмотреть следующие вопросы:

- а) обоснование категории помещения по степени опасности поражения электрическим током;
- б) требования к электрооборудованию;
- в) анализ соответствия реального положения на производстве перечисленным требованиям;
- г) мероприятия по устранению обнаруженных несоответствий;
- д) обоснование мероприятий и средств защиты, работающих от поражения электрическим током.

Рассматриваемая лаборатория не имеет характеристик, свойственных особо опасным помещениям в части поражения электрическим током. Необходимо применение основных коллективных способов и средств электрозащиты: изоляция проводов и её непрерывный контроль; предупредительная сигнализация и блокировка; использование знаков безопасности и предупреждающих плакатов; защитное заземление и защитное отключение.

Также, используются индивидуальные электрозащитные средства. В установках до 1000 В используются диэлектрические перчатки, указатели напряжения, диэлектрические коврики и боты, изолирующие подставки, а также инструмент с изолированными рукоятками.

Загорание (пожар)

Пожары – неконтролируемый процесс горения, которые чреваты большими материальными издержками, а часто и человеческими жертвами.

Обеспечение пожаробезопасности начинается с определения класса взрывоопасной зоны или класса пожароопасной зоны данного производственного помещения. Согласно классификации производств по пожарной опасности (ППБ-03) рассматриваемая лаборатория относится к классу В (обработка или применение твердых сгораемых веществ и материалов, а также жидкостей с температурой выше 120 градусов): электроизоляция, бумага, мебель. Т.е. технологический процесс в лаборатории исключает взрывоопасную зону, имеющиеся вещества могут только гореть. Лаборатория имеет пожароопасную зону класса П-2а. Минимальная допустимая степень защиты оболочек электрических машин для данной пожароопасной зоны обозначается IP44. Использование данной степени защиты – одно из направлений профилактики, оно должно быть установлено на объектах, где воздействие опасных факторов пожара может привести к травматизму или гибели людей, этого требует «технический регламент о требованиях пожарной безопасности».

Лаборатория оснащена такой системой с дымовыми извещателями. Сигналы извещателей включают систему протоколирования информации, формируют управляющую систему тревоги и систему оповещения о пожаре, для своевременной эвакуации людей. Это другое направление профилактики загораний.

Выбор типа и расчет необходимого числа огнетушителей производится в зависимости от их огнетушащей способности. Из пяти таких классов, лаборатории подходит класс А (пожар твердых веществ) и класс Е (горение электроустановок). Согласно [12] на 800 м² защищаемой площади рекомендуется использовать восемь двухкилограммовых порошковых огнетушителей. Для лаборатории достаточно одного двухкилограммового огнетушителя ОП.

Защита окружающей среды

Работа в лаборатории сопряжена с образованием и выделением газообразных, жидких и твердых отходов.

Газообразные отходы, загрязняющие воздух помещения: естественные выделения - углекислый газ, пары воды, летучие органические соединения - ЛОС (альдегиды, кетоны), азотистые соединения; бытовая пыль; ЛОС, выделяющиеся в процессе эксплуатации отделочных материалов, лакокрасочных покрытий мебели и др. Перед выбросом воздух помещений подвергается обязательной очистке в фильтровентиляционных системах, что предотвращает атмосферу от загрязнения. Жидкие отходы - бытовые отходы, образующиеся в процессах влажной уборки помещений, при пользовании водопроводом, туалетом и т.п., сбрасываются в городскую канализацию и далее поступают в системы централизованной очистки на городских очистных сооружениях.

При обращении с твердыми отходами: бытовой мусор (отходы бумаги, отработанные специальные ткани для протирки офисного оборудования и экранов мониторов, пищевые отходы); отработанные люминесцентные

лампы; офисная техника, комплектующие и запчасти, утратившие в результате износа потребительские свойства – надлежит руководствоваться Постановлением Администрации г. Томска от 11.11.2009 г. №1110 (с изменениями от 24.12.2014) [15]: бытовой мусор после предварительной сортировки складировать в специальные контейнеры для бытового мусора (затем специализированные службы вывозят мусор на городскую свалку); утратившее потребительские свойства офисное оборудование передают специальным службам (предприятиям) для сортировки, вторичного использования или складирования на городских мусорных полигонах. Отработанные люминесцентные лампы утилизируются в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 03.09.2010 №681 [16]. Люминесцентные лампы, применяемые для искусственного освещения, являются ртутьсодержащими и относятся к 1 классу опасности. Ртуть люминесцентных ламп способна к активной воздушной и водной миграции. Интоксикация возможна только в случае разгерметизации колбы, поэтому основным требованием экологической безопасности является сохранность целостности отработанных ртутьсодержащих ламп. Отработанные газоразрядные лампы помещают в защитную упаковку, предотвращающую повреждение стеклянной колбы, и передают специализированной организации для обезвреживания и переработки. В случае боя ртутьсодержащих ламп осколки собирают щеткой или скребком в герметичный металлический контейнер с плотно закрывающейся крышкой, заполненный раствором марганцевокислого калия. Поверхности, загрязненные боем лампы, необходимо обработать раствором марганцевокислого калия и смыть водой. Контейнер и его внутренняя поверхность должны быть изготовлены из неадсорбирующего ртуть материала (винипласта).

К сфере защиты ОС и рационального использования природных ресурсов относится и экономия ресурсов, в частности, энергетических. Реальным вкладом здесь может стать экономия электрической и тепловой

энергии на территории предприятия. Во-первых, это улучшает экономические показатели деятельности предприятия (уменьшение расходов на электротепловую энергию). Во-вторых, экономия энергии означает уменьшение газа, мазута, угля, сжигаемого в топках котлов ТЭС и электроустановок (котельных) промпредприятий города Томска и области и одновременное уменьшение выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Несмотря на кажущуюся малость такого вклада в энергосбережение и в защиту атмосферного воздуха от загрязнения массовое движение в этом направлении, в том числе, в быту, принесет значимый эффект.

Предотвращение ЧС и устранение их последствий

Наиболее вероятные чрезвычайные ситуации на рассматриваемом рабочем месте в механическом цехе: возникновение пожара и электропоражение.

Пожар (загорание) – как источник ЧС

Основными причинами пожара могут быть: перегрузка проводов, короткое замыкание, большие переходные сопротивления в электрических цепях, электрическая дуга, искрение и неисправности оборудования.

Согласно [11], пожарная профилактика обеспечивается: системой предотвращения пожара; системой противопожарной защиты; организационно-техническими мероприятиями. К мерам предотвращения пожара относятся: применение средств защитного отключения возможных источников загорания (защитного зануления); применение искробезопасного оборудования; применение устройства молниезащиты здания; выполнение правил (инструкций) по пожарной безопасности.

К мерам противопожарной защиты относятся: применение пожарных извещателей; средств коллективной и индивидуальной защиты от факторов пожара; системы автоматической пожарной сигнализации; порошковых или углекислотных огнетушителей, два ящика с песком 0,5 м³.

Организационно-технические мероприятия: наглядная агитация и инструктаж работающих по пожарной безопасности; разработка схемы действий администрации и работающих в случае пожара и организация эвакуации людей; организация внештатной пожарной дружины.

При обнаружении загорания рабочий немедленно сообщает по телефону 01 в пожарную охрану, сообщает руководителю, приступают к эвакуации людей и материальных ценностей. Тушение пожара организуется первичными средствами с момента обнаружения пожара. Пострадавшим при пожаре обеспечивается скорая медицинская помощь.

Электропоражение как источник ЧС

Современная система электробезопасности обеспечивает защиту от поражения в двух наиболее вероятных и опасных случаях:

- при прямом прикосновении к токоведущим частям электрооборудования;
- при косвенном прикосновении.

Под косвенным прикосновением понимается прикосновение человека к открытым проводящим частям оборудования, на которых в нормальном режиме (исправном состоянии) электроустановки отсутствует электрический потенциал, но при каких-либо неисправностях, вызвавших нарушение изоляции или ее пробой на корпус, на этих частях возможно появление опасного для жизни человека потенциала.

Для защиты от прямого прикосновения к токоведущим частям, согласно [14] п.412. служат изоляция токоведущих частей, применение ограждений и оболочек, установка барьеров, размещение вне зоны досягаемости, устройства защитного отключения (УЗО).

Для защиты от косвенного прикосновения применяются: защитное заземление и защитное зануление [14] п.413.

Даже если при электропоражении работающий внешне сохранил формат нормального самочувствия, он должен быть осмотрен врачом с заключением о состоянии здоровья. Предварительно пострадавший должен быть

освобожден от действия электрического тока. Если при этом отключить напряжение быстро невозможно, освобождение от электричества пострадавшего необходимо производить, изолировав себя диэлектрическими перчатками или галошами. При необходимости перерезать провода (каждый в отдельности) инструментом с изолированными ручками. Если есть необходимость (при потере сознания, остановке сердца и т.п.) оказания первой помощи, то до прибытия медработника необходимо начать делать: наружный массаж сердца, искусственное дыхание.

Для предотвращения от поражения электрическим током при прикосновении к корпусам электроустановок, находящихся под напряжением при пробое изоляции или в других случаях, необходимо рассчитать и установить защитное заземление.

Заключение

В выпускной квалификационной работе рассмотрен технологический процесс перекачки цемента с помощью пневмовинтовых насосов. Рассмотрена конструкция насосов, требования к ним и особенности их эксплуатации.

Выбран асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором типа RA160L6.

Произведён расчёт параметров Т-образной схемы замещения АД по паспортным данным. Рассчитаны естественные механические и электромеханические характеристики АД. Выбран тиристорный регулятор напряжения для осуществления плавного пуска двигателя. Построены электромеханические и механические характеристики электропривода при питании двигателя от тиристорного регулятора напряжения.

Смоделирован прямой пуск двигателя, получены графики переходных процессов для тока статора, скорости и электромагнитного момента.

Проведены исследования плавного пуска для различных типов напряжений задатчиков интенсивности с S-образной и линейной характеристиками. Исследовались разные времена пуска электропривода. Полученные графики переходных процессов показали, насколько оптимально был осуществлен плавный пуск: снижение колебаний момента, снижение пусковых токов. Получены значения потерь во время пуска двигателя, в связи чем был выбран наиболее оптимальный пуск с S-образным задатчиком интенсивности и временем пуска 2 секунды. Рассчитанный электропривод нашёл применение на бетонном заводе города Томска

Список литературы

1. Дуда В. Цемент / Пер. с нем. Е. Ш. Фельдмана. — М.: Стройиздат, 1981. — 464 с.
2. Евтюков С. А., Шапунов М. М. Справочник по пневмокомплексам и пневмотранспортному оборудованию. — ДНК, 2005. — 456 с.
3. Патон Б.Е. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением. Издательство: Машиностроение. 1974. — 768 с.
4. Технология ремонта тепловозов: Учебник для техникумов ж.-д. трансп./В. П. Иванов, И. Н. Вожаев, Ю. И. Дьяков, А. Я. Углинский; Под ред. В. П. Иванова. 2-е изд., перераб. и доп.— М.: Транспорт, 1987. 336 с.
5. Денкер, И. И. Технология окраски изделий в машиностроении: учеб. для ПТУ / И. И. Денкер. - 3-е изд., перераб. и доп. - М. : Высшая школа, 1990. — 215 с.
6. Чернышев А. Ю. Электропривод переменного тока: учебное пособие /А. Ю. Чернышев, И. А. Чернышев. — Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. — 218 с.
7. Чернышев А.Ю. Электрический привод: учебно-методическое пособие /А.Ю. Чернышев, И.А. Чернышев; Томский политехнический университет. — Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. — 98 с.
8. Удут Л. С. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов: учебное пособие. Ч. 8. Асинхронный частотно-регулируемый электропривод /Л.С. Удут, О.П. Мальцева, Н.В. Кояин; Томский политехнический университет. —2-е изд., перераб. и доп. — Томск: изд-во Томского политехнического университета, 2014. — 648 с.
9. Режим доступа: <http://www.softstarter.ru/catalog/plavniipusk/energysaver/es-ip54-uhl4/es11ip54/>
10. <http://matlab.exponenta.ru/simulink/book3/13.php> - Блок вычисления потребленной энергии.

11. ГОСТ 12.1.004-91, СС5Т « Пожарная безопасность. Общие требования »
12. СП 9.13130.2009« Техника Пожарная. Огнетушители. Требования к эксплуатации »
13. СНиП П-12-77. « Защита от шума »
14. ГОСТ Р 50571.3-94 «Электроустановки зданий. Часть 4. Защита от поражения электрическим током».
15. Постановление Администрации г. Томска от 11.11.2009 №1110 (с изменениями от 24.12. 2014) «Об организации сбора, вывоза, утилизации, и переработки бытовых и промышленных »
16. Постановление Правительства РФ от 03.09.2010 №681« Об утверждении Правил обращения с отходами производства и потребления в части осветительных устройств »

Приложение А

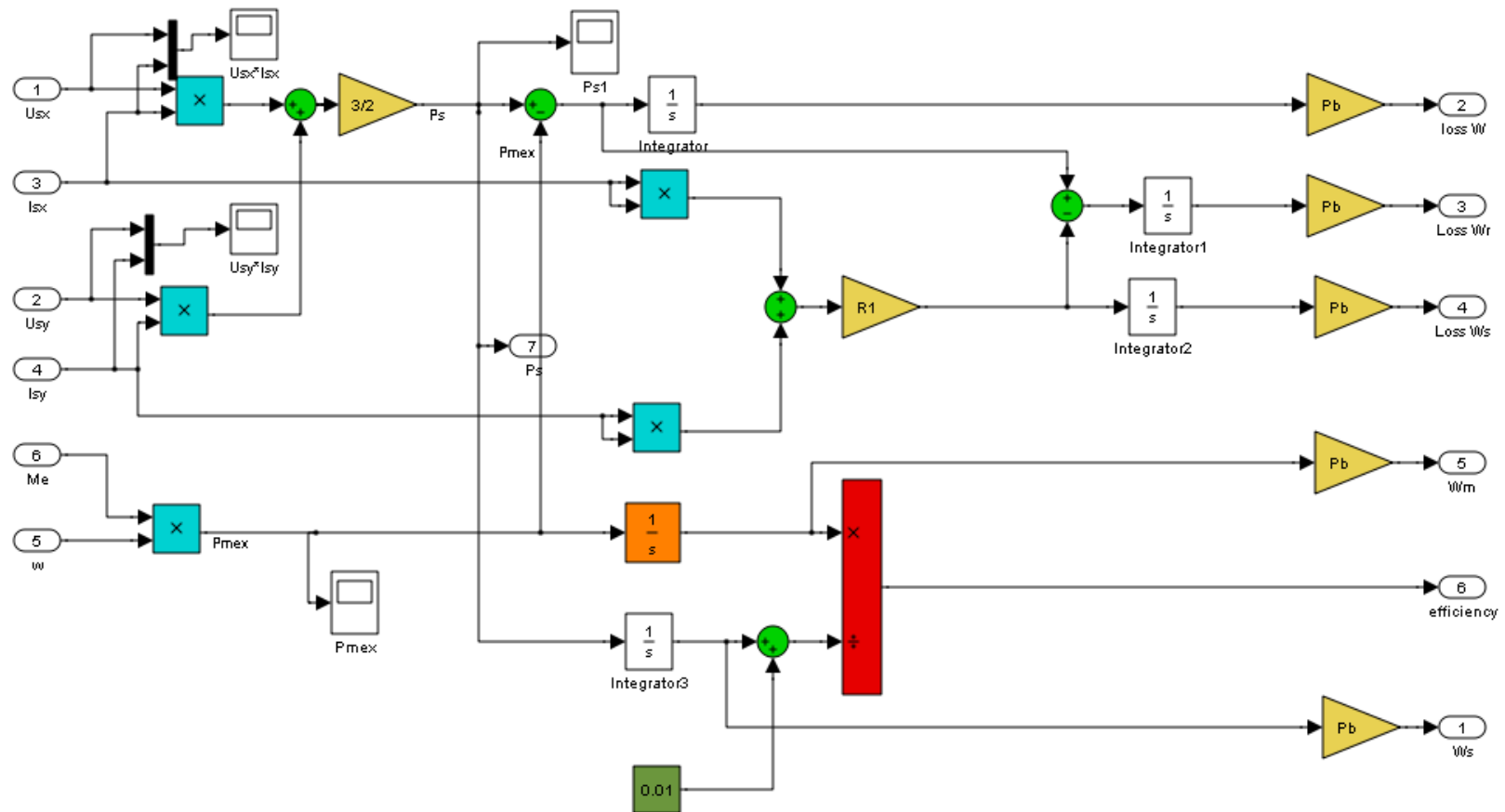


Рисунок 29 – Блок расчета потерь

Приложение Б

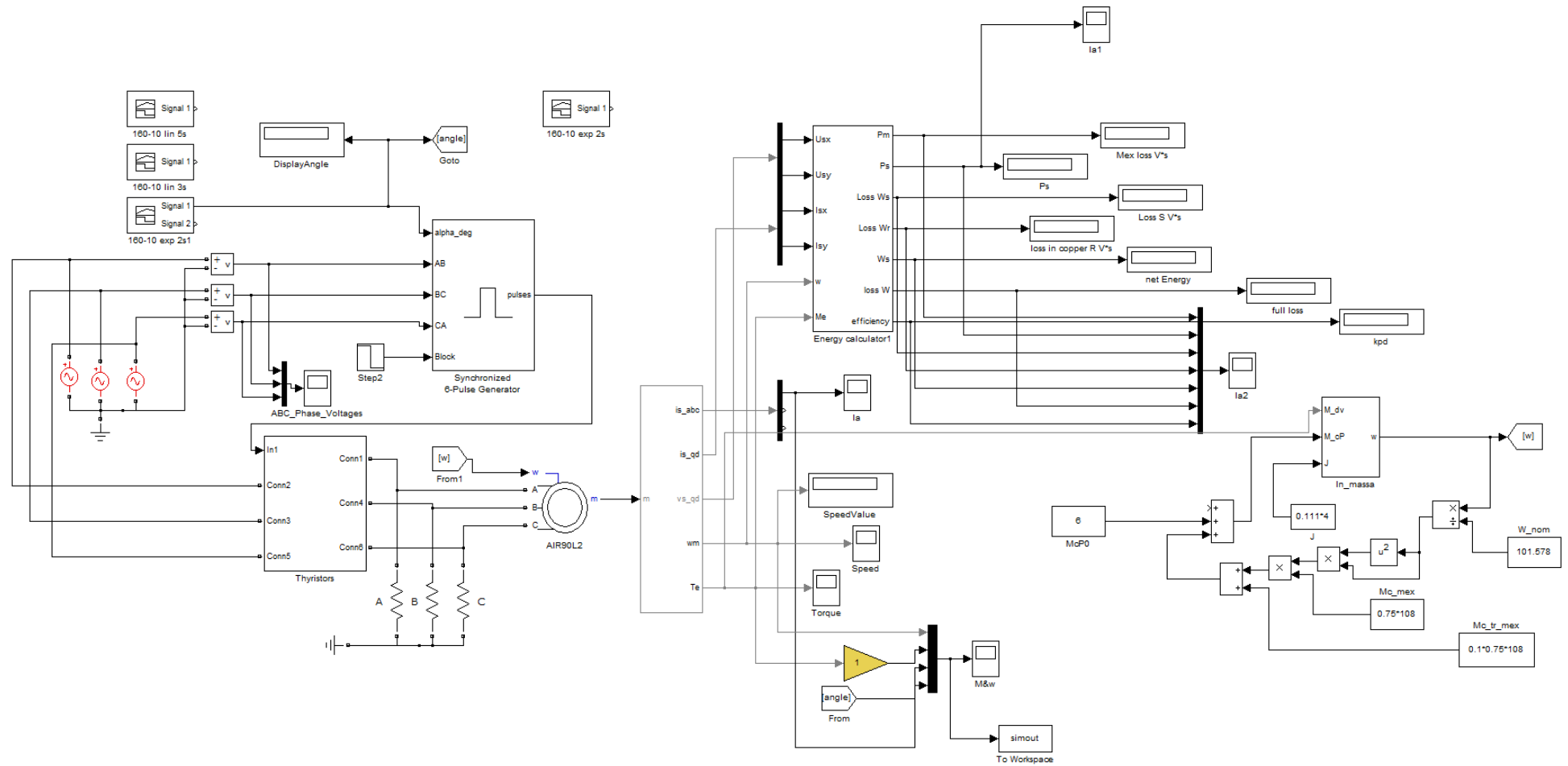


Рисунок 30 – Общий вид системы ТРН-АД

Приложение В

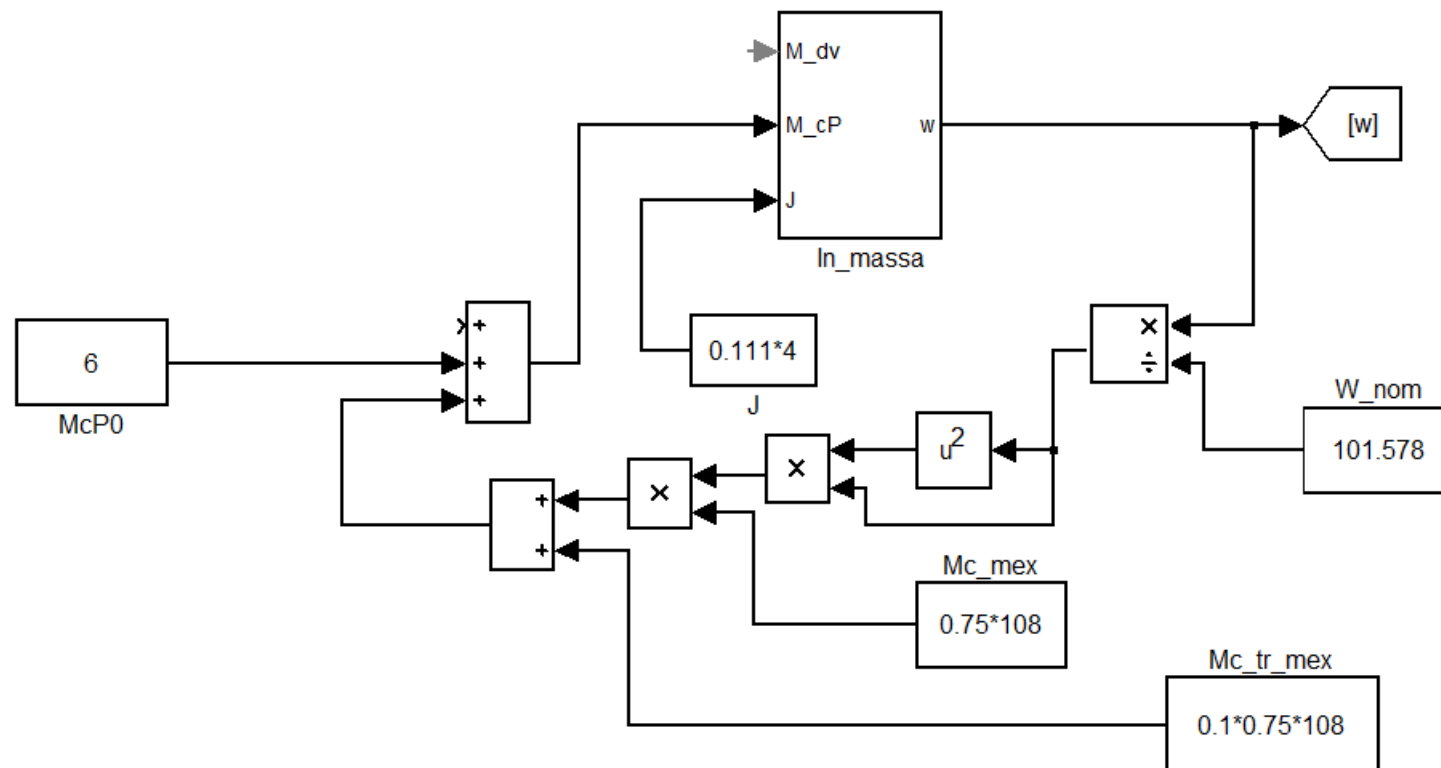


Рисунок 31 – Модель вентиляторной нагрузки